



Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

Diseño y desarrollo de basculante para motocicleta de 250cc para la “II Competición Internacional Motostudent”

Titulación: Ingeniero Técnico Industrial,
especialidad en mecánica

Alumno: José Daniel Camacho Segura

Director: Horacio T. Sánchez Reinoso

Cartagena, 20 de Noviembre de 2013

Índice

1.	ANTECEDENTES	15
1.1.	Motostudent	15
1.1.1.	La competición	15
1.1.2.	Fases de la competición	15
1.1.3.	El equipo.....	16
2.	OBJETO	17
3.	INTRODUCCIÓN	18
3.1.	Reglamento técnico	18
3.1.1.	Dimensiones.....	18
3.1.2.	Pesos	20
3.1.3.	Ergonomía	21
3.1.4.	Motocicleta	21
3.1.5.	Motor	25
3.1.6.	Airbox	25
3.1.7.	Depósito y conductos de combustible	26
3.1.8.	Sistema de refrigeración	26
3.1.9.	Sistema de escape.....	26
3.1.10.	Embrague y transmisión.....	26
3.1.11.	Encendido, electrónica y adquisición de datos	27
3.1.12.	Verificaciones técnicas Organización	27
3.2.	Componentes de partida.....	29
3.2.1.	Motor	30
3.2.2.	Horquilla.....	30
3.2.3.	Amortiguador.....	30

3.2.4.	Sistema de frenos.....	30
3.2.5.	Llantas.	31
3.2.6.	Neumáticos	31
4.	BASCULANTE.....	31
4.1.	Evolución histórica	31
4.2.	Tipos de basculantes	32
4.2.1.	Comparación estructural.....	32
4.2.2.	Resumen.....	37
4.3.	Estudio para elección del tipo de basculante.....	37
4.3.1.	Análisis de necesidades.....	38
4.3.2.	Evaluación y selección del tipo de basculante	39
5.	SUSPENSIÓN TRASERA.....	44
5.1.	Historia	44
5.2.	Amortiguador	46
5.2.1.	Constante efectiva del muelle.....	46
5.2.2.	Amortiguador MotoStudent	47
5.3.	Historia sistemas de bieletas.....	48
5.4.	Constante efectiva de la rueda	49
5.5.	Squat y hundimiento	51
5.5.1.	Transmisión por cadena	51
5.5.2.	Resultado.....	53
5.6.	Selección sistema de suspensión	53
5.6.1.	Tipos de sistema de suspensión	54
5.6.1.1.	Conexión directa chasis-basculante	54
5.6.1.2.	Sistema básico de bieletas	56
5.6.1.3.	Sistema de bieletas con balancín situado en el basculante	59

5.6.2.	Comportamiento a conseguir	61
5.6.3.	Elección del sistema de bieletas.....	61
5.7.	Estudio sistema de suspensión	62
5.7.1.	Inputs.....	63
5.7.1.1.	Datos generales.....	63
5.7.1.2.	Selección de sistema de suspensión	65
5.7.1.3.	Dimensiones basculante	66
5.7.1.4.	Unidad de suspensión	66
5.7.1.5.	Sistema de bieletas	67
5.7.1.6.	Sistema de cadena y piñón – plato	68
5.7.1.7.	Datos finales.....	68
5.7.2.	Outputs.....	69
6.	ESTUDIO DE ESFUERZOS SOBRE LA MOTOCICLETA.....	75
6.1.	Fuerzas actuantes sobre el basculante	76
6.1.1.	Compresión máxima suspensión	76
6.1.2.	Frenada máxima con rueda trasera	77
6.1.3.	Paso por curva	79
6.2.	Fuerzas actuantes sobre el sistema de suspensión	80
6.2.1.	Fuerzas actuantes sobre el rocker a compresión máxima	81
6.2.2.	Fuerzas actuantes sobre link a compresión máxima	81
7.	ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS.....	82
7.1.	Diseño basculante	82
7.1.1.	Diseño inicial	83
7.1.1.1.	Conclusión	92
7.1.2.	Diseño final.....	92
7.1.2.1.	Conclusión	102

7.2.	Diseño rocker (balancín)	102
7.2.1.	Diseño inicial	103
7.2.1.1.	Conclusión	104
7.2.2.	Diseño final.....	105
7.2.2.1.	Conclusión	106
7.3.	Diseño link	106
7.3.1.	Diseño inicial	107
7.3.1.1.	Conclusión	108
7.3.2.	Diseño final.....	108
7.3.2.1.	Conclusión	109
8.	FABRICACIÓN Y ENSAMBLADO DEL CONJUNTO	110
8.1.	Sistemas CAM.....	111
8.2.	Fabricación Vigas.....	112
8.2.1.	Corte por chorro de agua	113
8.2.2.	Mecanizado mediante CNC	114
8.2.3.	Utillaje	115
8.2.4.	Data sheet herramientas.....	119
8.3.	Fabricación traviesa.....	120
8.3.1.	Corte por chorro de agua	121
8.3.2.	Mecanizado mediante CNC.....	122
8.3.3.	Utillaje	123
8.3.4.	Secuencia de trabajo	124
8.3.5.	Data sheet herramientas.....	127
8.4.	Ensamblado	128
8.4.1.	Cursograma de fabricación	129
8.4.2.	Potro de soldadura	129

8.4.3.	Soldadura del conjunto	134
8.5.	Ensamblaje basculante-suspensión trasera	137
9.	CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE MMC	139
9.1.	Introducción MMC	139
9.2.	Verificación de componentes fabricados	140
9.3.	Procedimiento de medición	142
9.4.	Informe Traviesa	145
9.4.1.	Conclusión	148
10.	PRESUPUESTO	149
10.1.	Presupuesto de los componentes	149
10.2.	Presupuesto fabricación	150
10.3.	Presupuesto soldadura	150
10.4.	Presupuesto total	153
11.	CONCLUSIONES	154
12.	BIBLIOGRAFIA	155
	ANEXO 1. MATERIALES Y SOLDADURA	156
	ANEXO 2. ESFUERZOS SOBRE LA MOTOCICLETA	170
	ANEXO 3. ESTUDIOS PREVIOS SUSPENSIÓN TRASERA	181
	ANEXO 4. PLANOS	191

Índice de figuras

CAPITULO 1

Fig.1. 1. Plazos competición	16
------------------------------------	----

CAPITULO 3

Fig.3. 1. Dimensiones	20
Fig.3. 2. Posición normal de conducción	21
Fig.3. 3. Ángulo mínimo de giro de dirección.....	24
Fig.3. 4. Cargas aplicadas en verificación seguridad en banco	28
Fig.3. 5. Adhesivo apto verificaciones estáticas	29
Fig.3. 6. Adhesivo apto verificaciones dinámicas	29
Fig.3. 7. Características del Motor	30

CAPITULO 4

Fig.4. 1. Basculante doble brazo tubular.....	33
Fig.4. 2. Monobrazo tubular.....	33
Fig.4. 3. Mallado basculante Ducati monobrazo de magnesio	34
Fig.4. 4. Patrón de deformación de dos casos extremos	34
Fig.4. 5. Elementos finitos monobrazo y doble brazo	35
Fig.4. 6. Resultados de la comparación por elementos finitos.	36

CAPITULO 5

Fig.5. 1. Carga/compresión de muelle	46
Fig.5. 2. Muelle de constante variable	47
Fig.5. 3. Muelle de constante variable	47
Fig.5. 4. Plano amortiguador trasero MotoStudent.....	48
Fig.5. 5. Plano amortiguador trasero MotoStudent.....	49
Fig.5. 6. Relación desplazamiento rueda/muelle	50
Fig.5. 7. Separación sistema balancín-bieleta	50

Fig.5. 8. Pro-Squat	52
Fig.5. 9. Líneas de fuerzas	52
Fig.5. 10. Porcentajes de anti-squat	53
Fig.5. 11. Suspensión directa chasis-basculante	54
Fig.5. 12. Gráfica cte. efectiva rueda vs desplazamiento rueda (caso 1)	55
Fig.5. 13. Gráfica fuerza rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 1)	55
Fig.5. 14. Suspensión por bieletas	56
Fig.5. 15. Posiciones de bieletas	56
Fig.5. 16. Gráfica cte. efectiva rueda vs desplazamiento rueda (caso 2)	57
Fig.5. 17. Gráfica fuerza rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 2)	58
Fig.5. 18. Posición de bieletas. Relación de velocidades	58
Fig.5. 19. Balancín en el basculante	59
Fig.5. 20. Gráfica comparativa Cte. Efectiva rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 3)	60
Fig.5. 21. Gráfica comparativa fuerza vertical rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 3)	60
Fig.5. 22. Sistema tradicional de bieletas	62
Fig.5. 23. Programa Motorcycle Kinematics	63
Fig.5. 24. Selección de sistema de suspensión (Rear suspension)	65
Fig.5. 25. Módulo de inputs	65
Fig.5. 26. Suspensión relajada/compresión máxima	69
Fig.5. 27. Gráfica constante rueda vs movimiento vertical rueda	70
Fig.5. 28. Gráfica Fuerzas muelle y rueda vs movimiento vertical rueda	70
Fig.5. 29. Gráfica Desplazamiento amortiguador vs movimiento vertical rueda	71
Fig.5. 30. Gráfica ángulo basculante vs movimiento vertical rueda	71
Fig.5. 31. Gráfica fuerzas en eje de pivotaje basculante vs movimiento vertical rueda	72
Fig.5. 32. Gráfica fuerzas en eje de pivotaje rocker vs movimiento vertical rueda	72

CAPITULO 6

Fig.6. 1. Distancia entre ejes y centro de gravedad	75
Fig.6. 2. Gráfica Fuerzas muelle y rueda vs movimiento vertical rueda	76
Fig.6. 3. Gráfica fuerzas en eje de pivotaje rocker vs movimiento vertical rueda	77
Fig.6. 4. Fuerzas actuantes en frenada máxima con rueda trasera	78
Fig.6. 5. Fuerzas actuantes en paso por curva	79
Fig.6. 6. Gráfica de fuerzas actuantes sobre rocker y link.....	80
Fig.6. 7. Fuerzas actuantes sobre rocker	81
Fig.6. 8. Fuerzas actuantes sobre link	81
CAPITULO 7	
Fig.7. 1. Diseño preliminar	84
Fig.7. 2. Mallado Diseño Inicial.....	84
Fig.7. 3. Análisis de tensiones a compresión máxima diseño inicial	85
Fig.7. 4. Análisis de tensiones en paso por curva diseño inicial.....	86
Fig.7. 5. Análisis de tensiones en frenada máxima diseño inicial	87
Fig.7. 6. Análisis de coeficiente de seguridad a compresión máxima diseño inicial	88
Fig.7. 7. Análisis de coeficiente de seguridad en paso por curva diseño inicial.....	89
Fig.7. 8. Análisis de coeficiente de seguridad en frenada máxima diseño inicial	90
Fig.7. 9. Análisis de grado de rigidez torsional diseño inicial	91
Fig.7. 10. Diseño final	94
Fig.7. 11. Mallado Diseño final	94
Fig.7. 12. Análisis de tensiones a compresión máxima diseño final	95
Fig.7. 13. Análisis de tensiones en paso por curva diseño final	96
Fig.7. 14. Análisis de tensiones frenada máxima diseño final.....	97
Fig.7. 15. Análisis de coeficiente de seguridad a compresión máxima diseño final	98
Fig.7. 16. Análisis de coeficiente de seguridad en paso por curva diseño final	99
Fig.7. 17. Análisis de coeficiente de seguridad en frenada máxima diseño final.....	100

Fig.7. 18. Análisis de grado de rigidez torsional diseño final	101
Fig.7. 19. Diseño preliminar rocker	103
Fig.7. 20. Diseño inicial rocker.....	103
Fig.7. 21. Análisis de tensiones de rocker diseño inicial	104
Fig.7. 22. Análisis coeficiente de seguridad de rocker diseño inicial	104
Fig.7. 23. Diseño final rocker.....	105
Fig.7. 24. Análisis de tensiones de rocker diseño final.....	105
Fig.7. 25. Análisis coeficiente de seguridad de rocker diseño final.....	106
Fig.7. 26. Diseño inicial link	107
Fig.7. 27. Análisis de tensiones de link diseño inicial	107
Fig.7. 28. Análisis coeficiente de seguridad de link diseño inicial.....	107
Fig.7. 29. Diseño final link.....	108
Fig.7. 30. Análisis de tensiones de link diseño final	109
Fig.7. 31. Análisis coeficiente de seguridad de link diseño final	109
 CAPITULO 8	
Fig.8. 1. Máquina de corte por chorro de agua FLOW	111
Fig.8. 2. Centro de mecanizado CNC	111
Fig.8. 3. Programa CAM GibbsCAM.....	112
Fig.8. 4. Pletina bruto viga.....	113
Fig.8. 5. CAD viga para corte por chorro de agua.....	113
Fig.8. 6. Imagen viga posterior corte por chorro de agua.....	114
Fig.8. 7. Características viga	115
Fig.8. 8. Bruto traviesa	121
Fig.8. 9. CAD traviesa para corte por chorro de agua	121
Fig.8. 10. Imagen traviesa posterior corte por chorro de agua	122
Fig.8. 11. Imagen característica traviesa	123

Fig.8. 12. Base Potro de soldadura	130
Fig.8. 13. Soporte delantero potro de soldadura	131
Fig.8. 14. Explosionado soporte delantero potro de soldadura	131
Fig.8. 15. Soporte trasero potro de soldadura	132
Fig.8. 16. Explosionado soporte trasero potro de soldadura	132
Fig.8. 17. Potro de soldadura	133
Fig.8. 18. Explosionado potro de soldadura	133
Fig.8. 19. Posiciones de soldeo potro de soldadura	134
Fig.8. 20. Zonas de soldadura del basculante	135
Fig.8. 21. Simbología soldadura en ángulo con cordón plano	136
Fig.8. 22. Soldadura basculante	136
Fig.8. 23. Ensamblaje basculante-sistema de suspensión	138
 CAPITULO 9	
Fig.9. 1. Máquina de Medición por Coordenadas DEA Pionner	141
Fig.9. 2. Cotas y tolerancias de fabricación. Traviesa	141
Fig.9. 3. Colocación pieza en mesa de trabajo	142
Fig.9. 4. Puntos de contacto para creación de origen local. Traviesa	143
Fig.9. 5. Medición distancia sobre traviesa	144
Fig.9. 6. Interfaz de trabajo PCDMIS. Traviesa	145
Fig.9. 7. Mediciones sobre traviesa	146
 CAPITULO 10	
Fig.10. 1. Relación velocidad de deposición/Intensidad de corriente. Soldadura	152
Fig.10. 2. Factor de Operación soldadura TIG	152

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de valores	40
Tabla 2. Tabla de Necesidades Monobrazo o Doble brazo	40
Tabla 3. Tabla de Necesidades aluminio o acero	41
Tabla 4. Tabla de Necesidades Doble viga o Tubular	42
Tabla 5. Tabla de Necesidades Fundición o Mecanizado	43
Tabla 6. Tabla características finales basculante	43
Tabla 7. Datos generales (Miscellaneous Data)	64
Tabla 8. Módulo de inputs basculante	66
Tabla 9. Módulo de inputs unidad de suspensión	66
Tabla 10. Módulo de inputs sistema de bieletas	67
Tabla 11. Módulo de inputs sistema de cadena y piñón - plato	68
Tabla 12. Módulo de inputs finales	68
Tabla 13. Datos numéricos suspensión MS3	74
Tabla 14. Características generales basculante diseño inicial	83
Tabla 15. Resultados Grado de rigidez torsional diseño inicial	92
Tabla 16. Resultados finales de las hipótesis de carga del diseño inicial	92
Tabla 17. Características generales basculante diseño final	93
Tabla 19. Grado de rigidez torsional Diseño final	101
Tabla 20. Resultados finales de las hipótesis de carga del diseño final	102
Tabla 21. Características diseño inicial rocker	103
Tabla 22. Resultados finales de las hipótesis de carga de rocker diseño inicial	104
Tabla 23. Resultados finales de las hipótesis de carga de rocker diseño final	106
Tabla 24. Resultados finales de las hipótesis de carga de link diseño inicial	108
Tabla 25. Resultados finales de las hipótesis de carga de link diseño final	109
Tabla 26. Utillaje CNC vigas	116

Tabla 27. Secuencia de trabajo viga	119
Tabla 28. Herramientas CNC viga.....	120
Tabla 29. Utillaje CNC traviesa	124
Tabla 30. Secuencia de trabajo CNC traviesa	127
Tabla 31. Herramientas CNC traviesa.....	128
Tabla 32. Cursograma de fabricación y montaje basculante	129
Tabla 33. Valores límite de garganta.....	135
Tabla 34. Características soldadura.....	137
Tabla 35. Informe medición traviesa pag. 1	147
Tabla 36. Informe medición traviesa pag. 2	148
Tabla 37. Presupuesto material y componentes.....	149
Tabla 38. Presupuesto fabricación	150
Tabla 39. Metal depositado. Relación espesor/unión de soldadura	151
Tabla 40. Presupuesto Total.....	153

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar el apoyo que he recibido de toda mi familia, en especial a mis padres, Emilia y Jose Luis, quienes siempre han tenido fe en mí y gracias a ellos he tenido la oportunidad de estudiar la carrera que siempre he deseado.

También me quiero agradecerle a Horacio Sánchez Reinoso, que siempre nos apoyara a mis compañeros y a mí en la aventura del motociclismo, pudiendo participar en las competiciones universitarias de Motostudent. Agradecerle a todos los compañeros del equipo MotoUPCT el esfuerzo realizado, sin todos ellos nunca habiéramos conseguido los buenos resultados obtenidos. A los patrocinadores del equipo MotoUPCT que de forma altruista nos dieron todo su apoyo: Rectificados Levante, IES Politécnico de Cartagena, Italkit, Circuito de Velocidad de Cartagena, Albacolor, Tecnoescape, Turbokit y Moto Cano.

Por último y no menos importante a mis compañeros de carrera y amigos que me han apoyado y ayudado en lo posible durante estos años de carrera.

1.ANTECEDENTES

Este proyecto surge como consecuencia del diseño de una moto de competición, el cual engloba el diseño de una gran cantidad de sistemas y mecanismos que la componen, como puede ser el chasis, sistema de admisión y de escape, basculante, aerodinámica, y demás piecerío.

A continuación se va a explicar más sobre el origen de este proyecto, para permitir una mejor comprensión del marco en que se engloba.

1.1. Motostudent

1.1.1.La competición

La competición Motostudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF) es un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades españolas, europeas y del resto del mundo. Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de 250cc 4t, que competirán con su evaluación pertinente, en unas jornadas que se llevaran a cabo en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón. La competición consta de dos fases MS1 y MS2. En la fase MS1 el equipo universitario debe considerarse como una empresa fabricante de motos de competición para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unas condiciones técnicas y económicas, además del prototipo, deben de poner en marcha un proceso de fabricación en serie de la motocicleta de 600 unidades anuales bajo un coste máximo por unidad fabricada. En la fase MS2 el equipo universitario deberá comportarse como un auténtico equipo de motociclismo donde tendrán que realizar la puesta a punto de la motocicleta, así como hacer las actividades de mecánico e ingeniero de competición donde se evaluarán las habilidades de los estudiantes en una serie de pruebas tanto al equipo como al prototipo, además de la carrera final en el circuito.

1.1.2.Fases de la competición

La competición tiene una duración de 18 meses en los que se debe plantear todo el escenario real de un equipo de motociclismo de competición. Para ello los equipos parten de un planteamiento realista donde se debe buscar apoyo externo, a modo de patrocinadores y colaboradores para la financiación necesaria para la realización del proyecto, apoyo técnico, asesoramiento.

Una vez obtenido la financiación para el pago de inscripciones y material aportado por la Organización, se pasa a la fase MS1:

- diseño y viabilidad económica, en esta fase se tiene que diseñar completamente el conjunto del prototipo utilizando los componentes obligatorios dados por la Organización y paralelamente la viabilidad económica del prototipo tanto por la financiación económica de la que se dispone y la fabricación en serie de la motocicleta con un coste máximo de 4750 euros/unidad para una serie anual de 600 motocicletas.

Finalizado el diseño, fabricación, montaje y diversas pruebas de fiabilidad y correcto funcionamiento del conjunto se pasa a la fase MS2:

- Carrera, en esta fase se deberán pasar distintas pruebas de homologación puntuables de la motocicleta para poder competir en la carrera disputada en el Circuito Motorland. Estas pruebas se dividen en estáticas a través de un banco de pruebas, y dinámicas realizadas por un piloto profesional que evaluará la motocicleta.

Durante toda la competición (fase de diseño y carrera), la Organización exigirá a los equipos ciertas justificaciones así como requisitos mínimos que deba cumplir la moto.

<u>Objetivo</u>	<u>Fecha inicio</u>	<u>Fecha fin</u>
Preinscripción	28 de enero de 2013	1 de marzo de 2013
Inscripción	04 de Marzo de 2013	30 de Junio de 2013
Datos del equipo	1 de Octubre de 2014	31 de Octubre de 2014
Modificación integrantes equipo	30 de Junio de 2013	31 de Diciembre 2013
Estructuración del equipo	1 de Enero de 2014	31 de Enero de 2014
Justificación de matriculación de alumnos	1 de Enero de 2014	31 de Enero de 2014
Declaración de fabricación y conformidad con el reglamento.	1 de Febrero de 2014	28 de Febrero de 2014
Datos del piloto	1 de Marzo de 2014	31 de Marzo de 2014
Presentación de diseño cerrado	1 de Marzo de 2014	31 de Mayo de 2014
Material para acreditaciones	1 de Mayo de 2014	31 de Mayo de 2014
Entrega del proyecto completo	1 de Septiembre de 2014	30 de Septiembre de 2014
Entrega de presentaciones	Por publicar	Por publicar
Evento	octubre 2014	octubre 2014

Fig.1. 1. Plazos competición

1.1.3.El equipo

El equipo representativo en la competición está compuesto por alumnos de la Universidad Politécnica los cuales están o finalizando sus estudios realizando el PFC dentro del marco de la competición y alumnos que cumpliendo los requisitos de la Organización están a mitad de la

finalización de titulación y formándose para futuras competencias Motostudent, el equipo está dividido en 5 departamentos de trabajo:

- Diseño estructural y componentes.
- Motor
- Aerodinámica
- Marketing y comunicación
- Fabricación y costes

Todos los departamentos están dirigidos por un director encargado de la coordinación del mismo, realizando reuniones periódicas dentro del departamento y con los demás departamentos para una perfecta coordinación entre ellos. Además existe un team leader encargado del cumplimiento de los hitos a cumplir para la correcta finalización del proyecto.

2.OBJETO

El objeto general del proyecto se basa en el diseño del sistema de suspensión trasera y basculante, su cálculo estructural y fabricación con el posterior control de calidad del conjunto cumpliendo las especificaciones requeridas, para la participación en la III edición de la Competición Internacional Motostudent.

Concretamente, el objetivo es diseñar un sistema de suspensión con un buen comportamiento que facilite el manejo de la moto, y un basculante con una buena relación rigidez-peso. Todo ello ajustándose a un presupuesto y márgenes de tiempo ajustados por la competición.

Para conseguir estos objetivos se estudiarán los distintos tipos de sistemas de suspensión y basculantes existentes en la actualidad aplicados a la competición, valorando cada uno de ellos y eligiendo el más conveniente para esta motocicleta en concreto. Para ello se realizará un proceso de investigación y recopilación de información de diversas fuentes, para poder obtener el conocimiento necesario para la realización del modelo correcto.

Tras la elección del sistema de suspensión y modelo de basculante, se procederá a la elección del tipo de material y forma definitiva del basculante a través del programa de diseño 3D SolidWorks y varios estudios de elementos finitos para encontrar el modelo que mejor cubra las necesidades de la motocicleta.

Una vez definido el sistema de suspensión y basculante se procederá a la fabricación de sus componentes, soldadura de los mismos y control de calidad para el cumplimiento especificaciones y correcto funcionamiento requeridos por el conjunto.

3.INTRODUCCIÓN

En los siguientes sub-apartados se van a describir las premisas dispuestas por la Organización dentro del Reglamento Técnico para el diseño de los componentes de la motocicleta. Estas especificaciones se utilizan como datos de partida dados por la Organización para todos los equipos participantes, estableciendo las pautas a seguir para que la motocicleta sea apta para la participación en la competición.

3.1. Reglamento técnico

La Organización ha establecido un reglamento técnico que contiene la normativa técnica reguladora de la competición. El objetivo de este reglamento es el de estandarizar y acotar la gran variedad de posibilidades que existe en la construcción de un prototipo de moto de competición. De este modo todos los proyectos presentados por las diferentes universidades inscritas en la competición se ajustarán a una línea de trabajo común, posibilitando una competencia objetiva entre los participantes. Dicho reglamento al completo se recogerá en el “Reglamento técnico MotoStudent”.

Por todo ello, el primer paso para comenzar este proyecto será la lectura y análisis detallado de dicho documento, buscando aquellos apartados relacionados con el chasis o que puedan influir en su realización, para ser consciente y entender qué es lo que se puede y no se puede hacer respecto al diseño de éste.

Una vez se ha analizado todo esto, se pueden considerar las siguientes restricciones establecidas por la Organización que afectan directamente a la elaboración de este proyecto:

3.1.1.Dimensiones

Como se observa en la Fig.3.1 las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos aquí numerados:

- La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares ha de ser de 450 mm (Vista 1).
- El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma toque el pavimento debe ser 50 grados. Dicha medición se realiza con la motocicleta descargada pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento (Vista 1).

- La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías (Vista 2).
- Limite frontal: Ningún elemento de la motocicleta podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.
- Limite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero.
- Los neumáticos deberán tener una tolerancia mínima de 15 mm con cualquier elemento de la motocicleta en toda posición de la misma y reglaje de geometría.
- La anchura máxima del asiento debe ser de 450 mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás excepto el sistema de escape (Vista 3).
- La anchura máxima del carenado será de 600 mm.
- Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150 mm.

Para un mejor entendimiento se adjuntan las siguientes imágenes:

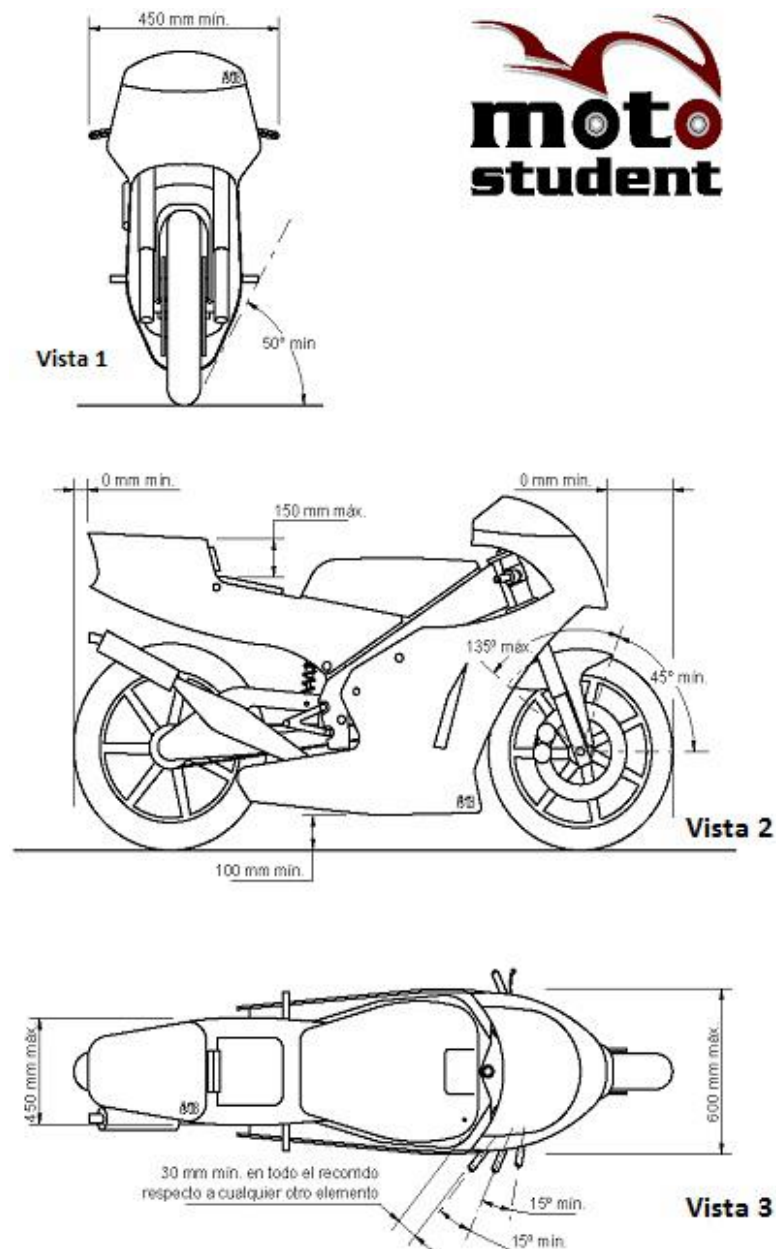


Fig.3. 1. Dimensiones

3.1.2.Pesos

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos en ningún momento de las pruebas deberá ser inferior a 95 kg. El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y al final de la competición. Está permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo. Este dato nos será muy importante a la hora de calcular los esfuerzos que debe soportar el chasis.

3.1.3.Ergonomía

El diseño de la moto deberá estar dentro de unos límites de ergonomía que correspondan a un piloto de estatura y peso medios.

Está permitida la instalación de elementos de mando regulables para mejorar la ergonomía y comodidad del piloto.

Los elementos y símbolos reflejados en el tablier y mandos, deben ser perfectamente legibles en la posición normal de conducción.

Tomando el percentil de tallas P95 la posición de pilotaje de una motocicleta deportiva estándar, en posición normal de conducción, está comprendida por los siguientes ángulos descritos en la Fig. 3.2.

Dónde:

- α : Ángulo de la espalda con la vertical. Para una motocicleta deportiva entre 19° y 40° .
- β : Ángulo de flexión de rodillas. Para una motocicleta deportiva entre 65° y 77° .

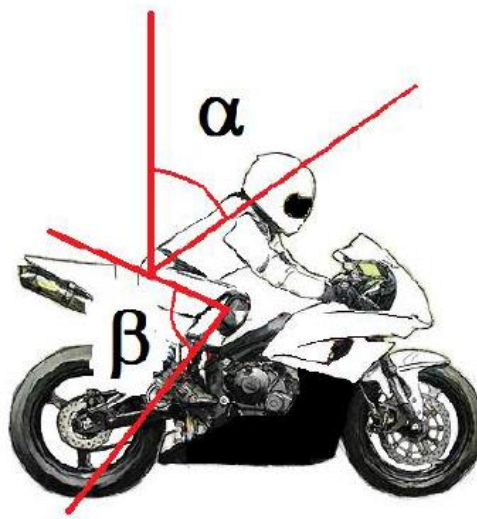


Fig.3. 2. Posición normal de conducción

3.1.4.Motocicleta

A continuación se describirán los elementos de libre diseño y los proporcionados por la Organización de obligado montaje en la motocicleta para todos los equipos participantes. Las especificaciones de manera más detallada pueden ver el en el “Reglamento Técnico Motostudent”.

3.1.4.1. Bastidor

El diseño, proceso y material utilizado para la fabricación del bastidor es libre salvo algunas excepciones descritas a continuación:

- No se permite el uso de un chasis comercial ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo novedoso de fabricación propia.
- No está permitido fabricar el chasis en titanio ni aleaciones de titanio.
- El bastidor definitivo deberá superar el proceso de homologación realizado por la Organización.

3.1.4.2. Carenado

El carenado es de libre elección ateniéndose a los siguientes requisitos:

- El carenado inferior o quilla debe estar fabricado para contener, en caso de accidente del motor, mínimo 2.5 litros. Incluyendo en él un agujero de 25 mm de diámetro situado en el punto más bajo del mismo, que deberá abrirse únicamente en caso de lluvia.
- Todos los bordes y acabados han de estar acabados con un radio mínimo de 1 mm.
- La llanta posterior no se podrá cubrir en más de 180°.
- El guardabarros delantero no podrá cubrir más de 135° de la circunferencia del neumático medido desde la parte posterior del neumático con origen del ángulo en la horizontal que pasa por el eje de la rueda.
- Es obligatorio el uso de topes de nilón para proteger la motocicleta en caso de caída.

3.1.4.3. Suspensiones

Tanto la horquilla delantera como el amortiguador posterior serán de uso obligado los proporcionados por la Organización a excepción de los siguientes elementos.

Horquillas delanteras

Las siguientes modificaciones están permitidas por la Organización:

- Las partes internas de la horquilla.
- Tapones de la horquilla pueden reemplazarse o modificarse.
- Los retenes se pueden cambiar o retirar mientras la horquilla quede completamente protegida.
- El acabado original de los tubos de las horquillas puede ser cambiado. Tratamientos superficiales adicionales están permitidos.

Amortiguador posterior

Las siguientes modificaciones están permitidas por la Organización:

- El muelle de suspensión puede ser reemplazado.
- El amortiguador posterior suministrado puede ser modificado, pero no sustituido

3.1.4.4. Sistema de dirección

Se permite la instalación de amortiguadores de dirección de libre elección a excepción de las siguientes características:

- El amortiguador de dirección no puede actuar como dispositivo que limite el ángulo de giro.
- En todo el recorrido de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30mm entorno a los puños del manillar y accionamientos.
- El ángulo de giro mínimo de la dirección deberá ser de 15° medidos a cada lado del eje longitudinal de la motocicleta. (Fig3.3)
- El ángulo de giro deberá ir limitado con topes en ambos lados.

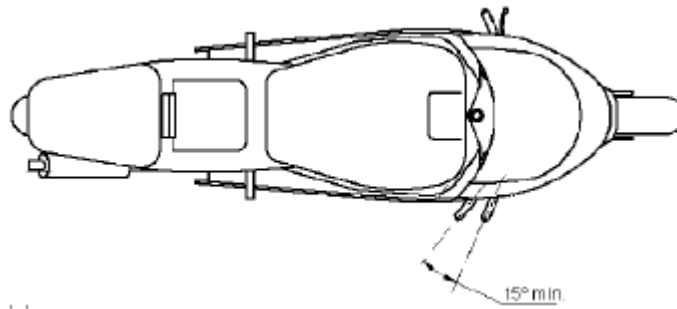


Fig.3. 3. Ángulo mínimo de giro de dirección

3.1.4.5. Estriberas

Las estriberas son de libre elección siempre y cuando cumplan los siguientes requisitos:

- Pueden ser fijas o de tipo plegable.
- El extremo de cada estribera debe acabar en un radio esférico pleno y del mismo diámetro que la estribera.
- Las estriberas plegables deben acabar en un tapón en aluminio, plástico, Teflón o cualquier otro material equivalente en dureza.
- Deberán disponer de protectores laterales para evitar que la bota del piloto pueda inferir con elementos móviles como cadena o neumático trasero.

3.1.4.6. Sistema de frenado

La motocicleta deberá disponer de sistema de frenado por discos tanto en eje delantero como trasero. La Organización suministrará varios elementos del sistema de frenado:

- Maneta de freno delantero + bomba.
- Bomba de freno trasero
- Pinzas de freno delantera y trasera

Las especificaciones detalladas vienen descritas en el Reglamento Técnico Motostudent.

3.1.4.7. Llantas y neumáticos

Es obligatorio el uso de las llantas y neumáticos suministrados por la Organización. Las medidas de las llantas son:

- Delantera: 2.75" x 17"
- Trasera: 3.75" x 17"

3.1.5.Motor

Es obligatorio el uso del motor proporcionado por la Organización. El motor se entregará precintado por la Organización y queda totalmente prohibida su manipulación. Cualquier precinto roto o deterioro será causa de no conformidad técnica.

A continuación se describirán las especificaciones reglamentarias del motor:

- La velocidad máxima de rotación del cigüeñal está limitada de serie a un máximo de 13.500 rpm. Todas las motocicletas deberán estar equipadas obligatoriamente con un cuentarrevoluciones que puede ser digital o analógico, para verificar las máximas rpm.
- Todos los cárter que contengan aceite deben estar provistos de un cubre cárter, no permitiéndose la modificación del mismo ni tan siquiera sus anclajes externos.
- Se permite la sustitución o modificación del sistema de alimentación original, exceptuando carburadores cerámicos.
- Está permitido la elección libre del sistema de admisión de aire siempre y cuando cumpla con los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta, exceptuando el uso de dispositivos móviles en el sistema de admisión y conductos de admisión de geometría variable.
- Solo se permite una mariposa, que deberá ser accionada exclusivamente por medios mecánicos.
- Está prohibido el uso de sistemas “turbo” para el aumento de presión de gases de admisión.

3.1.6.Airbox

El diseño de la caja de admisión de aire es libre.

3.1.7. Depósito y conductos de combustible

- Es obligatoria la instalación de un respiradero en el depósito para verter sobrantes de líquidos, provisto de una válvula de retención.
- El depósito de combustible deberá ir relleno de material retardante.
- La salida de combustible del depósito deberá situarse por encima de la altura de válvulas de admisión del motor.
- El tapón de depósito deberá ser estanco con un sistema de apertura y cierre de rosca.
- Todos los conductos de combustible del depósito deberán estar provistos de racores estancos de seguridad. Para la apertura del racor la fuerza aplicada deberá ser, máximo, el 50% de la fuerza necesaria para desprender cualquier otra unión.

3.1.8. Sistema de refrigeración

- El diseño y construcción del sistema de refrigeración exterior es libre.
- No se permite la modificación del sistema de refrigeración interna del motor
- La adición de radiadores para refrigeración de aceite no está permitida.
- El diseño del radiador es de libre elección.
- Solo se podrá utilizar agua destilada.

3.1.9. Sistema de escape

- El sistema de escape es de libre elección siempre que cumpla los requerimientos generales de la motocicleta y la normativa de sonoridad, la máxima permitida será de 115 dB medidos de manera estática a 5.500 rpm.
- Están prohibidos los sistemas de escape de geometría variable además de las partes móviles en los escapes.

3.1.10. Embrague y transmisión

- Los discos, muelles y campana de embrague pueden reemplazarse.
- El embrague de origen puede modificarse con sistema de deslizamiento limitado en la transmisión (tipo anti-patinaje o anti-rebote).
- La caja de cambios suministrada por la Organización no puede ser sustituida ni modificada.
- El empleo de sistemas de ayuda electromecánica o electrohidráulica está prohibido.

- Están autorizados los sistemas externos de cambio rápido de velocidades.
- El kit de arrastre piñón, corona y cadena son de elección libre.

3.1.11. Encendido, electrónica y adquisición de datos

- Se permite la instalación de cualquier ECU pudiendo configurar el mapa electrónico del motor libremente.
- Es obligatorio la instalación de una batería.
- Se permite la elaboración de una instalación eléctrica libre.
- El sistema electrónico de información utilizado en el dashboard es libre.
- No está permitido el uso de sistemas electrónicos de control o ayuda que aporten claramente una ventaja en la conducción del vehículo, tales como control de tracción y ABS.
- Está permitido el uso de sistemas de adquisición de datos relativos a parámetros del motor, dinámica de la motocicleta y comportamiento del piloto.
- Se permite la utilización libre de todo tipo de sensores siempre que su instalación no afecte a ninguna norma de modificación del presente reglamento.
- Están prohibidos los sistemas de lectura de telemetría en directo.

3.1.12. Verificaciones técnicas Organización

El objetivo de las verificaciones es comprobar que las motos presentadas por los equipos participantes en la Competición cumplen con las especificaciones de prestaciones y seguridad reflejadas en el Reglamento Técnico General aportado por la Organización Motostudent.

Las verificaciones técnicas no son puntuables para la Competición Motostudent, pero pueden ser excluyentes si se detecta un incumplimiento de la normativa impuesta, o si la moto no es considerada como segura para participar en las pruebas. Estas verificaciones serán llevadas a cabo por comisarios técnicos y personal cualificados designado por la Organización.

Las verificaciones técnicas se dividen en 3 fases:

- Verificación estática de seguridad.
- Verificación de seguridad en banco.
- Verificación dinámica de seguridad en pista.

3.1.12.1. Verificación estática de seguridad

La moto será examinada por los comisarios técnicos siguiendo todas las normas expuestas en el Reglamento Técnico General.

3.1.12.2. Verificación de seguridad en banco.

La moto se someterá a un proceso de verificaciones en banco mediante una serie de pruebas detalladas a continuación:

- La moto se someterá a una serie de fuerzas horizontales y verticales en un banco de ensayos para comprobar rigidez del chasis, correcto ensamblaje y trabajo de suspensiones.
 - Carga horizontal progresiva en rueda delantera: 300kg
 - Carga vertical progresiva sobre el asiento: 250kg.

Estas cargas se aplicaran 2 veces consecutivas y se verificará que la medida es repetitiva en cuanto a deformación con un error entre medidas inferior a un 10% y que no aparece ningún tipo de fallo o fisura en los componentes estructurales o elementos de unión.

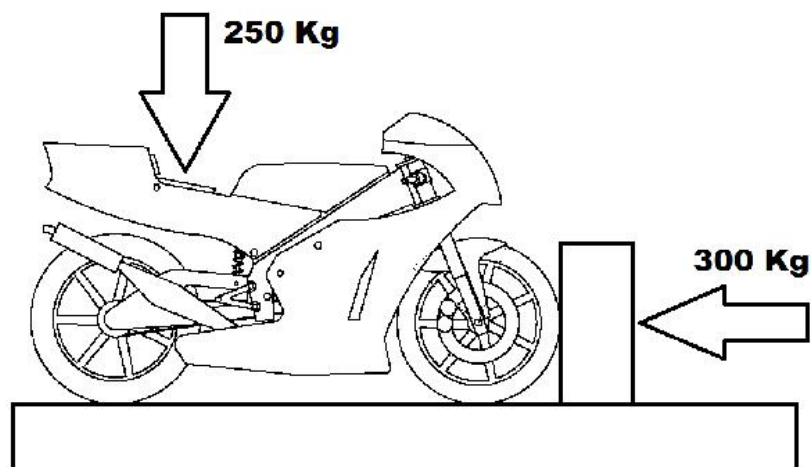


Fig.3. 4. Cargas aplicadas en verificación seguridad en banco

Además se realizará una prueba de comprobación de frenos donde se examinará el correcto funcionamiento de los mismos utilizando para ello un frenómetro de rodillo. Para que la moto se considere apta en la prueba deberá rendir por encima de los siguientes valores de fuerza:

- Eje delantero: 0.30kN
- Eje trasero: 0.25kN

Se realizará una medición de sonoridad de escape, la sonoridad máxima permitida viene reflejada en el apartado 3.1.9.

Una vez superadas todas estas pruebas la moto se considerará apta en las pruebas estáticas y en banco marcándose con el adhesivo correspondiente.



Fig.3. 5. Adhesivo apto verificaciones estáticas

3.1.12.3. Verificación dinámica de seguridad en pista.

Se realizarán a través de un piloto probador designado por la Organización, dónde pondrá a prueba la moto con una serie de pruebas dinámicas en pista para verificar el correcto funcionamiento de la moto. Las pruebas serán:

- Prueba de embrague, avance y cambio de marchas.
- Comprobación de frenado.
- Comprobación de giro.

Una vez verificados los diferentes aspectos, el piloto probador de la Organización dará una vuelta completa al Circuito de Velocidad.

Si la moto se considera como apta tras la verificación dinámica, será marcada con el correspondiente adhesivo. Pudiendo participar en la fase MS1.



Fig.3. 6. Adhesivo apto verificaciones dinámicas

3.2. Componentes de partida.

La Organización proporciona una serie de componentes comunes para todos los equipos, los cuales deben de ser instalados en la motocicleta de manera obligatoria y solamente se podrán hacer las modificaciones reflejadas en el Reglamento Técnico General.

Los componentes comunes proporcionados por la Organización se describen a continuación:

3.2.1.Motor

El motor asignado para esta competición es un motor de la marca Sherco modelo SE 250i, se adjunta a continuación la hoja con las especificaciones técnicas del mismo.

MOTOR SHERCO SE 250i: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Tipo	4 tiempos de 1 cilindro con líquido refrigerante
Cilindrada	249.4 CC
Diámetro/ Carrera	78/52mm
Relación de compresión	12.6 :1
Gasolina	Súper, sin plomo, con índice de octanos mínimo de 95
Distribución	4 válvulas, DOHC, mando por cadena
Diámetro válvula admisión	29mm
Diámetro válvula escape	25mm
Juego en frío válvula admisión	0.15-0.2mm
Juego en frío válvula escape	0.2-0.25mm
Rodamientos de cigüeñal	2 rodamientos de rodillos cilíndricos
Pistón	Aluminio forjado
Lubricación	Engrase por circulación por presión mediante 2 bombas
Aceite motor	1 litro SAE 10W60
Transmisión primaria	(21 :70)
Cambio	6 marchas
1	(14:33)
2	(17:30)
3	(19:28)
4	(21:26)
5	(23:24)
6	(25:22)
Transmisión secundaria	13X48
Embrague	Multidisco en baño de aceite comanda hidráulica
Sistema de arranque/batería	Arranque eléctrico/12V 6.5 Ah
Inyección electrónica	Magneti Marelli

Fig.3. 7. Características del Motor

3.2.2.Horquilla

La horquilla es derivada de la motocicleta comercial Yamaha YZF 125cc.

3.2.3.Amortiguador.

Amortiguador de la marca SACHS.

3.2.4.Sistema de frenos.

Sistema de frenos J.Juan compuestos por:

- Pinza freno delantera
- Maneta y bomba de freno delantera
- Pinza de freno trasera
- Bomba de freno trasera

3.2.5.Llantas.

Llantas derivadas de la motocicleta comercial Yamaha YZF 125cc

3.2.6.Neumáticos

Neumáticos DUNLOP Moto3, se entregará a cada equipo un juego de neumáticos slicks de seco.

- Delantera: 2.75" x 17"
- Trasera: 3.75" x 17"

4.BASCULANTE

4.1. Evolución histórica

Aunque algunos de los primeros diseños de suspensiones con basculante, como los de Moto-Guzzi y Vincent, estaban triangulados para tener una mayor rigidez estructural, parece que este aspecto fue largamente ignorado durante los años 50 y 60, cuando los basculantes comenzaron a ser universales.

La Norton Featherbed lideró un tipo de diseño, que utilizaba un tubo transversal para el giro junto con dos brazos laterales de un diámetro relativamente pequeño. La falta de rigidez torsional llegaba a tal nivel que Girling vendía amortiguadores ajustados por parejas como opción extra, para reducir la torsión adicional debida al desequilibrio de la suspensión. Hasta que Yamaha resucitó el basculante triangulado, a finales de los 60 y durante los primeros 70, no se comenzó a prestar atención a las Consideraciones estructurales. Desde entonces hasta hoy en día, la rigidez de los basculantes se ha ido incrementando de forma gradual.

La flexibilidad del basculante permite que la rueda se mueva hacia los lados creándose ángulos de comba y de deriva y por lo tanto fuerzas de dirección. La Fig.4.6 muestra estos modos de deformación y su efecto en la orientación de la rueda.

Como estas acciones sobre la dirección no están bajo el control directo del piloto, podemos pensar que van en detrimento del comportamiento dinámico y de la estabilidad, pero en cierto modo actúan de forma parecida al avance de la rueda delantera. Tanto la variación del ángulo de comba como el ángulo de deriva actúan oponiéndose a la fuerza perturbadora, y por lo tanto en algunos casos realmente pueden producir una distorsión menor en la dirección. En general la rigidez estructural de los componentes de un chasis hoy en día ya ha alcanzado un nivel que puede causar problemas para absorber los baches en las curvas, y algunos fabricantes están introduciendo de forma deliberada cierta flexión controlada.

4.2. Tipos de basculantes

4.2.1.Comparación estructural

- MONOBRAZO O DOBLE BRAZO

Los basculante monobrazo se han usado desde hace mucho tiempo en pequeños ciclomotores y scooters, pero no empezaron a considerarse como una opción seria para motocicletas deportivas grandes y para motos de competición hasta que no aparecieron las Elf de resistencia diseñadas por Andre de Cortanze. Desde entonces, ha existido diversidad de opiniones con respecto a esta solución. Honda lo ha empleado en una gran variedad de moto deportivas y de carreras, tanto con transmisión por cadena como por cardan, Ducati ha tenido mucho éxito en los circuitos, mientras BMW ha pasado a emplear el monobrazo de forma exclusiva en todos sus modelos con transmisión por cardan, primero con un brazo rígido muy simple y más tarde con un sistema articulado llamado “paralever” que controla el levantamiento y el squat. MV ha decidido utilizar un monobrazo de fundición en su nueva superbike F4. De hecho los basculante monobrazo tienen un uso mucho más amplio de lo que normalmente se piensa.



Fig.4. 1. Basculante doble brazo tubular.



Fig.4. 2. Monobrazo tubular.

Sin embargo, la mayoría de los fabricantes todavía utiliza el diseño estándar de los últimos 5 años, el basculante de doble brazo, de una forma u otra. ¿Cuál es el motivo? ¿Quizás se debe a la tradición, consideraciones de fiabilidad del producto, estética o es que el diseño simétrico del basculante de dos brazos tiene algunas ventajas técnicas? Lo que nos interesa es el aspecto técnico de esta pregunta y para encontrar la respuesta tendremos que estudiar qué características hacen que un basculante sea bueno y como ambos planteamientos (doble brazo y monobrazo) llegan a encontrar esos requerimientos.

Asumiendo que ambas variantes tienen la misma geometría (misma longitud y los mismos puntos de anclaje al chasis), y que tanto el muelle como el amortiguamiento son iguales, existen tres criterios principales para compararlos:

- Rigidez estructural.
- Peso total.
- Masa no suspendida.

Dado que el diseño real de un basculante monobrazo y de uno de dos brazos varía tanto, resulta difícil poder compararlos. Los basculantes monobrazo para la transmisión por cadena al estilo de los que han diseñado Honda, Ducati y otros, utilizan formas muy complejas, debido a que montan la corona de la cadena por el lado exterior. Las propiedades estructurales de estos brazos se pueden evaluar utilizando técnicas de análisis por elementos finitos. Es un método de cálculo por ordenador que considera que la estructura está compuesta por muchos elementos pequeños unidos juntos, de acuerdo a unas reglas determinadas, para formar la pieza completa. La imagen siguiente muestra un ejemplo de cómo se dividió un basculante Ducati de fundición de magnesio para este tipo de análisis. Normalmente los basculantes monobrazo para motos con transmisión por cardán tienen una construcción más sencilla.

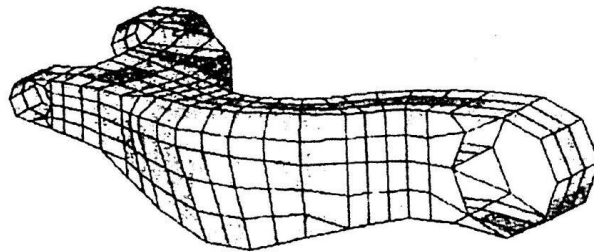


Fig.4. 3. Mallado basculante Ducati monobrazo de magnesio

Las características de la deformación de un basculante de dos brazos dependen en gran medida de la naturaleza y la rigidez del eje de la rueda y de su método de anclaje. El peor caso lo encontramos en aquellos basculantes que tienen una fina chapa en su extremo con una ranura para el ajuste de la cadena, este caso se acerca mucho al de un eje con articulaciones en ambos extremos. El mejor caso probablemente lo podremos encontrar en máquinas con transmisión final por cardán, que suelen tener un eje con un anclaje muy rígido. La Fig. 4.4 muestra el patrón de deformación de dos casos extremos. En el primero el eje no aporta ningún efecto rigidizador y en el segundo el eje tiene una unión completamente sólida con el basculante. En el mundo real, un basculante estaría en algún lugar entre estos dos extremos y los resultados que veremos más adelante son un promedio de estos dos valores extremos.

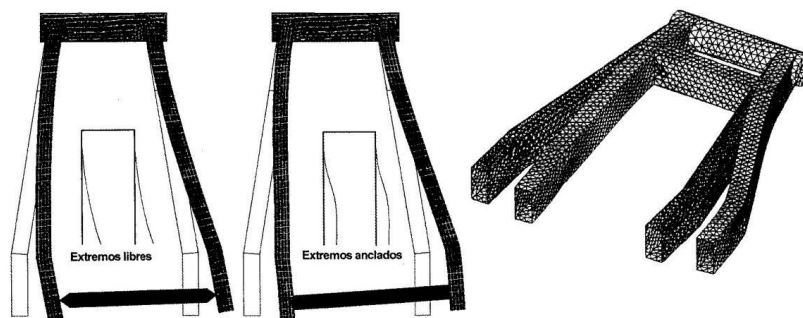


Fig.4. 4. Patrón de deformación de dos casos extremos

La deformación torsional del basculante de dos brazos tiene 3 fuentes principales de flexibilidad que debemos considerar.

- Torsión en el eje de pivotamiento del basculante.
- Flexión vertical de los brazos.
- Torsión de los brazos laterales, que depende fundamentalmente del tipo del tipo de anclaje del eje de la rueda, al igual que en caso de la flexión lateral.

Para hacernos una idea acerca de si alguno de los dos tipos de construcción, doble brazo o monobrazo, tiene una ventaja estructural importante sobre el otro vamos a considerar unos análisis por elementos finitos de ejemplos simples de cada tipo, en acero, y después compararemos los resultados. Cada tipo se ha analizado de dos formas, tal y como se muestra en la Fig. 4.5. El ejemplo de dos brazos se analiza tanto con un segundo tubo transversal de refuerzo, como si él. El monobrazo con y sin refuerzo de chapa por detrás del tubo de pivotamiento. En ambos casos se utilizan brazos de 457 mm de longitud, y ambos tienen tubos de pivotamiento idénticos, de 203 mm de ancho, 44.4 mm de diámetro y 3.17 mm de espesor de pared. Para el diseño tradicional de dos brazos, estos están contruidos con chapa de 51 x 25 x 1.59 mm. Esta es una configuración típica utilizada por muchos fabricantes de piezas especiales. El basculante monobrazo que vamos a analizar es el que montaba la Q2, que empleaba un tubo de 76 mm de diámetro con una pared de 1.59 mm. Así que ambos casos corresponden a ejemplos prácticos.

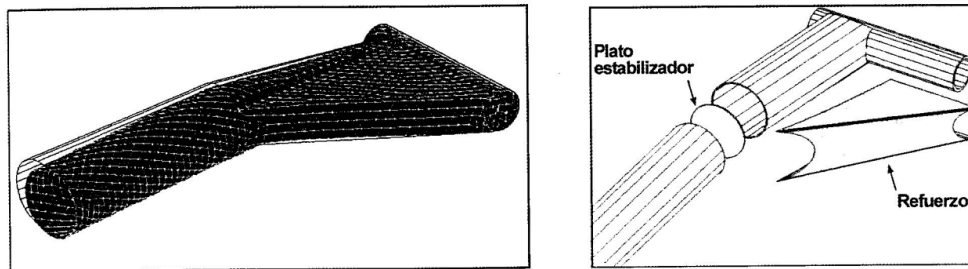


Fig.4. 5. Elementos finitos monobrazo y doble brazo

La Fig.4.6 muestra las deformaciones de la rueda que hemos considerado y los resultados de los análisis. Se muestran como un porcentaje del resultado más rígido en cada caso. Podemos ver que en los dos ejemplos que analizamos ninguno tiene una ventaja clara sobre el otro. El monobrazo reforzado y el basculante de dos brazos reforzado con un segundo tubo transversal tienen prácticamente la misma rigidez en lo que se refiere a la variación del ángulo de comba. En cuanto al desplazamiento lateral, el monobrazo es casi el doble de rígido, pero la situación es la contraria en el ángulo que gira la rueda (ángulo de guiñada). En el ejemplo de dos brazos la resistencia de la rueda a girar con un movimiento de guiñada depende mucho de la disposición del diseño. Por ejemplo si los dos brazos son paralelos, tendremos un ángulo de giro muy pequeño a pesar de la flexibilidad lateral de los brazos. Por el contrario, si los brazos se abren

hacia la trasera, como suele ocurrir casi siempre en la práctica, entonces la rueda girará cierto ángulo, tal y como podemos ver en la Fig.4.6. Así pues, resulta complicado generalizar sobre las características del diseño de doble brazo. Para ello hay que estudiar los detalles de ejemplos específicos.

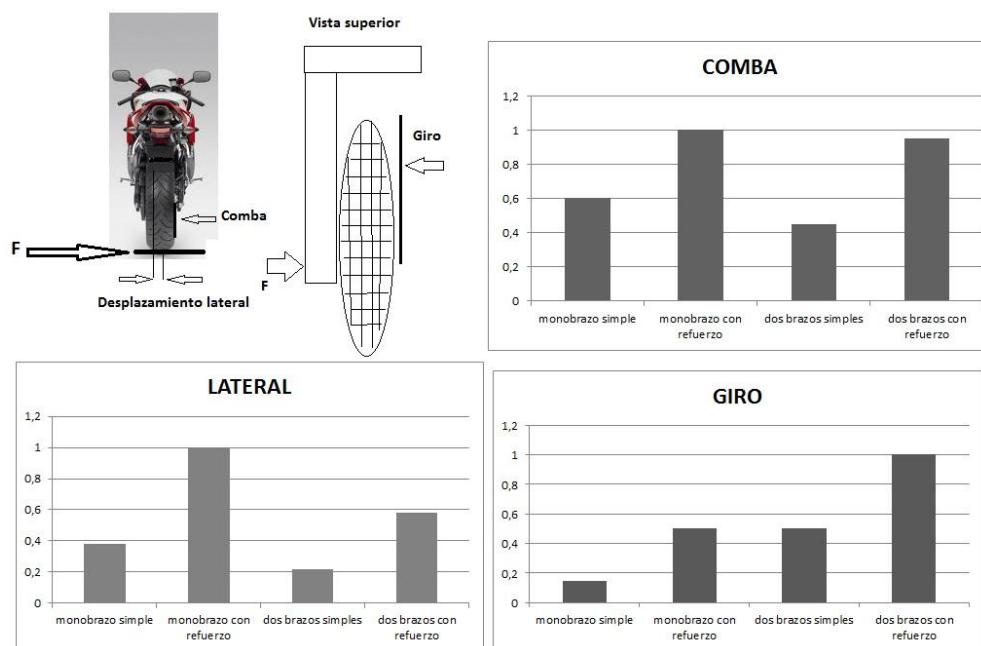


Fig.4. 6. Resultados de la comparación por elementos finitos.

Los valores de rigidez se muestran en función del mejor de cada caso. El dibujo de abajo a la derecha muestra los 3 tipos de desplazamiento que se consideran en el análisis, cuando sometemos al conjunto a una fuerza lateral (F) en el punto de contacto del neumático con la carretera.

Está claro que la adición del refuerzo del basculante monobrazo y del segundo tubo transversal en el basculante de doble brazo es muy eficiente a nivel estructural. En cada caso la rigidez global se multiplica aproximadamente por dos a cambio de un pequeño aumento de peso. Así pues, parece que ambos tipos de basculante se pueden construir para que tengan un comportamiento estructural satisfactorio. Las diferencias en los valores de rigidez que hemos obtenido con estos ejemplos son menores que las que se podrían obtener con cualquier otro diseño dependiendo del diseño de detalle, por lo que la decisión sobre qué tipo elegir normalmente estaría basada en otra clase de consideraciones. La facilidad para el cambio de rueda podría ser un punto definitivo a favor del monobrazo, especialmente en carreras de resistencia, pero existen otras consideraciones como el coste, la facilidad de ajuste de la cadena, la facilidad para conseguir las tolerancias de fabricación necesarias, la estética, la tradición y otras.

Como regla general, resulta necesario equilibrar la rigidez relativa de los componentes del chasis. Por ejemplo no tiene sentido aumentar el peso para rigidizar un buen basculante que se usa en un chasis muy flexible, sería mejor utilizar ese aumento de peso para rigidizar primero el chasis.

4.2.2. Resumen

Hoy en día, la suspensión trasera mediante basculante es un diseño universal. A lo largo del tiempo se ha ido incrementando la rigidez estructural, lo que en general ha beneficiado el comportamiento dinámico. Con una o dos excepciones, el empleo de dos amortiguadores montados casi verticales, uno a cada lado de la rueda, fue el sistema de suspensión favorito durante un largo periodo de tiempo. De hecho este sistema todavía se utiliza mucho, aunque en las motos de campo, en las de competición y en las deportivas el sistema más habitual se basa en algún tipo de monoamortiguador comprimido por un sistema de bieletas. A parte de proporcionar ventajas estructurales esta solución proporciona una gran libertad en la fase de diseño para hacer que la constante elástica tenga características progresivas y regresivas.

Actualmente existe una gran discusión, aunque sin ningún consenso, sobre si merece la pena utilizar basculantes monobrazo en lugar de los más habituales de doble brazo. En realidad, probablemente se puede hacer que ambos trabajen igual de bien dependiendo de la calidad del diseño de detalle. La facilidad de cambio de rueda debería ser una gran ventaja para el monobrazo en carreras de resistencia. Las motos con transmisión por cardán han conseguido un gran volumen de fabricación de sistemas monobrazo. Si bien existen varias soluciones posibles al problema de la variación de la distancia que existe entre el piñón de ataque y la corona de la rueda, son muy poco utilizadas. En general, la variación de la holgura de la cadena es algo que se acepta, aunque con los largos recorridos de suspensión de las motos de campo se producen variaciones demasiado grandes como para no tenerlas en cuenta. Esto se controla a través de un piñón que se empuja mediante un muelle.

4.3. Estudio para elección del tipo de basculante

Una vez conocidos los distintos tipos de basculantes existentes, así como sus características y funcionamiento, se realizará un estudio para dilucidar cuál de ellos se adapta mejor al objetivo de conseguir un diseño lo más competitivo dentro de los límites presupuestarios establecidos

4.3.1. Análisis de necesidades

Para ser capaces de tomar una correcta decisión sobre qué tipo de basculante diseñar se debe analizar y tener claras qué necesidades debe cubrir nuestro basculante. Por ello, se enumerarán a continuación todos los requisitos que se han acordado que debe cumplir.

I. Rigidez

Como ya hemos visto, es una de las características principales de un basculante.

Se entiende como rigidez la capacidad para soportar las cargas a las que se verá sometido, manteniendo su geometría dentro de unos valores adecuados. Esto quiere decir que la rigidez estará relacionada con las deformaciones temporales que sufrirá la estructura del basculante al ser sometido a una carga que posteriormente cesará. Estas deformaciones nunca deberán sobrepasar el límite elástico, convirtiéndose en deformaciones plásticas. Nuestro objetivo será, por tanto, diseñar un basculante lo más rígido posible.

II. Peso

Como en todos los vehículos de competición el peso es un factor primordial. Además se trata de una zona de masa no suspendida haciendo que el peso sea una característica importantísima para el correcto funcionamiento del sistema de suspensión.

III. Cargas

El basculante tendrá que ser capaz de soportar todas las cargas sin entrar en la zona plástica del material. Habrá situaciones en las que soportará el peso de todos los componentes, del piloto, debido a la transferencia de cargas. También hay que tener en cuenta las reacciones en los neumáticos así como las cargas dinámicas que se generen en el funcionamiento de la moto.

IV. Espacio

Como se ha mencionado en repetidas ocasiones, la disponibilidad de espacio en una motocicleta de competición es algo muy necesario. Estas motocicletas se encuentran en continuo cambio durante las competiciones, por lo que un rápido y fácil acceso a los elementos modificables es algo que debemos prever en nuestro diseño.

V. Material

Se deberá seleccionar un material que aporte la rigidez necesaria, con un peso lo más reducido posible y que además, se adapte a nuestras posibilidades presupuestarias.

VI. Fabricación

Se debe conocer con detalle el proceso de fabricación para poder determinar si será viable. Se entiende por viable que se disponga de los recursos económicos necesarios para realizarla, de personal cualificado para llevarla a cabo y que, tanto la dificultad como el coste, no excedan del límite establecido.

VII. Reglajes

Al tratarse de un prototipo, se tiene que tratar de realizar una configuración que permita poder hacer cambios en algunos parámetros geométricos de la motocicleta. En el caso del basculante se referirá a la posición de la rueda trasera, posición del pivot, posición del anclaje del amortiguador, configuración sistema de bieletas.

VIII. Montaje

El basculante se diseñará para su fácil montaje de todos los elementos que componen la suspensión trasera.

IX. Estética

Al tratarse de una competición de ingeniería donde se valora tanto el diseño como la innovación es importante que la estética del basculante sea buena. Además para el piloto y para cualquier usuario de motos es importante que el basculante le transmita sensación de seguridad a primera vista.

X. Resistencia a impactos

Es importante tener en cuenta que el basculante será utilizado para la competición donde las caídas e impactos que pueda sufrir este son probables. Tendrá que estar preparado para resistir ciertos golpes, ya que es una pieza de la que no hay repuestos y en caso de rotura, habría que abandonar la competición.

4.3.2. Evaluación y selección del tipo de basculante

Para poder tomar una decisión correcta entre el tipo de basculante a diseñar (monobrazo o doble brazo, tubular o doble viga) se realizará una evaluación matemática de cómo cumplen las distintas necesidades anteriormente mencionadas cada uno de los tipos.

Primeramente, se procederá a elegir qué tipo de basculante se diseñará, monobrazo o doble brazo. Vamos a comparar los dos modelos, teniendo en cuenta rigidez, peso total, espacio y facilidad de diseño y fabricación.

Para ello se valorará cada una de las necesidades funcionales según importancia asignándole un valor numérico. A su vez, se valorará también con valores numéricos el cumplimiento de los requerimientos de cada modelo según necesidades (Tabla 1).

IMPORTANCIA	VALOR	CUMPLIMIENTO	VALOR
ALTA	3	BUENO	3
MEDIA	2	REGULAR	2
BAJA	1	MALO	1

Tabla 1. Tabla de valores

A continuación se elaborará una tabla con las distintas necesidades requeridas para cada tipo de basculante, a cada necesidad se le dará un valor por importancia y cumplimiento de dicha necesidad. Posteriormente se realizará el cálculo “Importancia x Necesidad” y se sumarán los resultados dando lugar a una puntuación total de cada tipo de basculante, permitiendo seleccionar el que mejor se adapte a las necesidades buscadas.

NECESIDADES	IMPORTANCIA	CUMPLIMIENTO		RESULTADOS	
		Monobrazo	Doble brazo	Monobrazo	Doble brazo
Rigidez	3	2	3	6	9
Peso	3	3	2	9	6
Espacio	2	3	2	6	4
Diseño	2	1	3	2	6
Fabricación	1	1	3	1	3
TOTAL				24	28

Tabla 2. Tabla de Necesidades Monobrazo o Doble brazo

Los cálculos realizados nos muestran que el modelo que mejor se ajustan a las necesidades requeridas para este tipo de motocicleta es el de tipo Doble brazo, debido como se muestra en la Tabla 2 a su gran compromiso entre todas las necesidades.

Ambos modelos son similares en rigidez y peso para una motocicleta de competición de esta cilindrada, en tema de espacio para este tipo de motocicleta no es muy relevante debido a que no se trata a carreras resistencia donde el cambio de neumáticos es muy importante, donde más diferencia de puntuación se nota es en el aspecto de diseño y fabricación, debido a que un basculante monobrazo requeriría un gran coste por dichos motivos algo que para este tipo de motocicleta dentro del marco Motostudent resulta inviable.

A continuación se plantea los distintos tipos de basculante doble brazo, vistos desde el punto de vista de la fabricación. Los materiales más utilizados para la fabricación de basculantes son el acero y el aluminio, ya sea mediante perfiles, tubos, fundición o mecanizado.

Se usará el mismo baremo utilizado anteriormente Tabla 1, en esta ocasión valoraremos las necesidades funcionales de los tipos de basculante desde el punto de vista del tipo de material a utilizar.

NECESIDADES		IMPORTANCIA	CUMPLIMIENTO		RESULTADOS	
			Aluminio	Acero	Aluminio	Acero
Rigidez		3	2	3	6	9
Cargas		3	2	3	6	9
Peso		3	3	1	9	3
Material		2	3	3	6	6
Fabricación		3				
	Dificultad	3	2	2	6	6
	Disponibilidad	2	2	2	4	4
	Coste	3	2	3	6	9
Estética		2	3	1	6	2
Resistencia a impactos		2	3	3	6	6
TOTAL					55	54

Tabla 3. Tabla de Necesidades aluminio o acero

Según la valoración realizada la funcionalidad es parecida, solamente hay un despunte en el aspecto estético y en peso donde el aluminio gana ventaja.

Una vez realizada la valoración del cumplimiento de las necesidades funcionales se procederá a la valoración desde el punto de vista estructural, es decir, según su forma, permitiendo así seleccionar el que mejor se ajuste. En esta ocasión se compararán dos tipos de estructuras más comunes, doble viga y estructura tubular, siguiendo los mismos criterios que los anteriores.

NECESIDADES		IMPORTANCIA	CUMPLIMIENTO		RESULTADOS	
			Doble viga	Tubular	Doble viga	Tubular
Rigidez		3	3	3	9	9
Cargas		3	3	3	9	9
Peso		3	2	2	6	6
Material		2	2	2	4	4
Fabricación		3				
	Dificultad	3	2	2	6	6
	Disponibilidad	2	1	3	2	6
	Coste	3	2	3	6	9
Espacio		2	3	2	6	4
Variabilidad		1	2	1	2	1
Montaje		2	2	2	4	4
Resistencia a impactos		3	3	2	9	6
Estética		2	3	1	6	2
TOTAL					69	66

Tabla 4. Tabla de Necesidades Doble viga o Tubular

Según la valoración realizada, el doble viga obtiene cierta ventaja, sobretodo en aspectos de resistencia a impactos y estética donde obtiene un cierto margen. En los valores de rigidez y peso son bastante similares. Por lo tanto se ha optado por el sistema estructural doble viga.

Por último se realizará la valoración desde el punto de vista de la fabricación, comparando para la fabricación de un basculante doble viga entre fundición por molde de arena y mecanizado CNC para un prototipo.

NECESIDADES		IMPORTANCIA	CUMPLIMIENTO		RESULTADOS	
			Fundición	Mecanizado	Fundición	Mecanizado
Rigidez		3	3	3	9	9
Cargas		3	3	3	9	9
Peso		3	3	2	9	6
Material		2	2	3	6	9
Fabricación		3				
	Dificultad	3	1	2	3	6
	Disponibilidad	2	1	3	2	6
	Coste	3	1	2	3	6
	Calidad final	3	1	3	3	9
Espacio		2	2	2	4	4
Variabilidad		1	1	2	1	2
Montaje		2	2	2	4	4
Resistencia a impactos		3	3	2	9	6
Estética		2	3	2	6	4
TOTAL					68	80

Tabla 5. Tabla de Necesidades Fundición o Mecanizado

Según el análisis realizado la solución que mejor se ajusta a las necesidades requeridas es un basculante doble brazo de aluminio con estructura de doble viga fabricado mediante un proceso de mecanizado CNC.

BASCULANTE	DOBLE BRAZO
MATERIAL	ALUMINIO
ESTRUCTURA	DOBLE VIGA
FABRICACIÓN	MECANIZADO

Tabla 6. Tabla características finales basculante

5.SUSPENSIÓN TRASERA

5.1. Historia

El brazo oscilante trasero (comúnmente conocido como basculante) se ha impuesto totalmente como sistema de suspensión trasera y aunque está lejos de ser perfecto, resulta difícil pensar en una alternativa que pueda ser mejor. El basculante se impuso rápidamente al sistema plunger, que era técnicamente muy pobre, aunque fue muy popular en los años 50. Normalmente el basculante estaba formado por un tubo transversal que alojaba los rodamientos de giro y un par de tubos laterales que soportaban la rueda y los amortiguadores. Este diseño tan básico tenía una carencia clara de rigidez torsional y era necesario utilizar dos amortiguadores para evitar el par que producían las fuerzas de la suspensión. Para eliminar estos defectos, la relación más eficaz entre rigidez y peso se obtienen triangulando el basculante y conectando el vértice al amortiguador, tal y como lo patentó Vincent en 1928. Más recientemente ha habido una tendencia hacia los sistemas de suspensión trasera por bieletas con un basculante triangulado por debajo del eje de giro y conectado al amortiguador a través de una bieleta. Normalmente, el propósito de todos estos diseños consiste en obtener unas constantes de muelle y de amortiguamiento progresivas a través de medios geométricos. Si la progresividad es deseable, esta puede ser una buena forma de conseguirla porque tanto la relación del muelle como la del amortiguador varían a la vez. Para conseguir este efecto progresivo, es necesario que una bieleta o palanca se incline un ángulo grande para un determinado movimiento lineal, y para ello este brazo de palanca debe ser pequeño. Todos los sistemas de bieletas tienen esto en común. Suponiendo que todos producen unos cambios parecidos en la constante efectiva del muelle, y que su peso y su rigidez son similares, ninguno de estos diseños tiene una ventaja especial sobre los demás, a pesar de lo que digan los fabricantes. Así, la elección de diseño quedará determinada si nos basamos en consideraciones estructurales o de espacio. También resulta beneficioso que el sistema tenga el menor número posible de articulaciones.

Al igual que en el tren delantero, el trasero, con el paso del tiempo, requirió un anclaje elástico con el chasis. Aunque la importancia de equipar suspensión en esta rueda era menos importante que en la delantera, debido a que la dirección del vehículo se encontraba en esta primera, la comodidad y el aumento de las velocidades lo hicieron necesario. Por ello, a partir del primer cuarto de siglo, los modelos de mayor cilindrada primero, y los demás con posterioridad, empezaron a disponer de distintos sistemas de suspensión trasera.

El gran obstáculo en los primeros momentos fue la transmisión secundaria. Los sistemas iniciales, tanto correa como por cadenas de eslabones, funcionaban muy mal si se les sometía a tensiones, y la solución inicial consistió en dotar al asiento de unos sencillos muelles que amortiguasen los choques de la rueda trasera. Algo más tarde se impusieron los sistemas en los cuales la rueda disponía de un mínimo desplazamiento vertical. De los diferentes sistemas, el que más éxito tuvo fue la suspensión trasera por émbolo. En este caso, se mantenía el chasis rígido, pero la rueda

trasera se anclaba sobre un soporte deslizante que permitía un pequeño desplazamiento vertical, al estar fijado su eje sobre un rail en el que se intercalaba un muelle o un amortiguador hidráulico. Estos sistemas aún no eran lo suficientemente equilibrados, ya que, por una parte, el recorrido de la rueda era muy pequeño, y por otra, su desplazamiento provocaba variaciones de tensión en la transmisión secundaria bastante importantes, ya que era completamente recto.

Algo antes de la segunda guerra mundial, se desarrolló el sistema que más tarde se impondría definitivamente, el brazo basculante. Previamente ya había sido ensayado por algunos fabricantes, pero, a partir de entonces, se extendió de manera definitiva. Este sistema, ha permanecido hasta nuestros días. Esta forma de un basculante anclado al chasis en la parte trasera, lo más cerca posible de la transmisión posterior de tipo rígido como por ejemplo el cardan. Normalmente por sencillez de diseño y de instalación del motor en el caso de transmisión por cadena, hay una pequeña distancia entre el eje del piñón de ataque y el del basculante. Si son coincidentes, el sistema se denomina “coaxial”. El extremo libre de este basculante está ocupado por el anclaje de la rueda, que de este modo tiene un desplazamiento circular, tomando como centro el anclaje del basculante al chasis. Las funciones elásticas están encomendadas a uno o varios amortiguadores intercalados entre el basculante y el chasis.

Este sistema de suspensión presenta una serie de ventajas. En primer lugar, es bastante ligero, permite un gran recorrido de la rueda, ya que esta no está limitada por nada, y además el movimiento que sigue es perfectamente compatible con cualquier transmisión secundaria.

Con la llegada de este tipo de suspensión, la práctica totalidad de las motocicletas pudieron disponer de un sistema que evitara todos los problemas causados por la falta de tracción al despegarse la rueda del suelo en los baches, las derrapadas por causas de una deficiente adherencia, y facilitara un importante aumento de la comodidad, lo que posibilitó el aumento de la potencia, y, sobre todo, de las posibilidades de aplicarla al asfalto.

En este tipo de suspensiones aparecen dos elementos de gran importancia en la motocicleta, el basculante y los amortiguadores. El basculante es el brazo que une la rueda con el chasis y la dota de un movimiento circular alrededor de su eje. Esta pieza debe ser muy robusta, ya que debe soportar todos los esfuerzos de torsión y flexión a los que les somete la rueda trasera. No hay que olvidar que una de las funciones primordiales de la estructura ciclística de la moto es mantener siempre alineadas las ruedas en todo momento.

Los basculantes iniciales eran muy poco resistentes, normalmente realizados en acero de sección redonda con escasos refuerzos. Con el paso del tiempo, se comprobó que su rigidez era uno de los puntos más importantes para la mejora de la estabilidad a alta velocidad y comenzaron a aumentarse de sección, con perfiles cuadrados y rectangulares. Posteriormente, se reforzaron con triangulaciones superiores e inferiores, secciones trapezoidales, etc. Un tipo especial de basculantes es el monobrazo. Normalmente, estas piezas disponen de dos brazos, de manera que, junto con el

eje de la rueda, forman una estructura cerrada. Con el fin de facilitar la extracción de la rueda, se han realizado también modelos con una sola viga lateral muy reforzada.

A lo largo de los años, la colocación del elemento elástico ha ido variando. La posición más clásica ha sido instalar dos amortiguadores, unos sobre cada brazo del basculante, en la zona cercana al anclaje de la rueda, sujetos por su parte superior al bastidor, sin embargo, y como se estudiará más adelante esta disposición ha variado.

5.2. Amortiguador

5.2.1. Constante efectiva del muelle

La constante efectiva del muelle es una medida de la rigidez del resorte y se determina midiendo la fuerza extra necesaria para comprimir el muelle una determinada longitud. Esto se suele expresar en N/mm. Así que un muelle con una constante de 10 N/mm necesitará una fuerza adicional de 100 N para comprimirlo 10 mm. En algunos casos, esta constante no varía en todo el rango de movimiento útil del muelle, y se denomina lineal. Por otra parte, algunos tipos de muelles exhiben una constante diferente a lo largo del movimiento del amortiguador, esto es a menudo conocido como un tipo progresivo, es decir, la constante aumenta con la carga adicional. Es muy importante entender la diferencia entre la constante efectiva y la carga. La carga es la fuerza total soportada por el amortiguador, mientras que la constante es la fuerza adicional necesaria para comprimir el muelle una longitud extra.

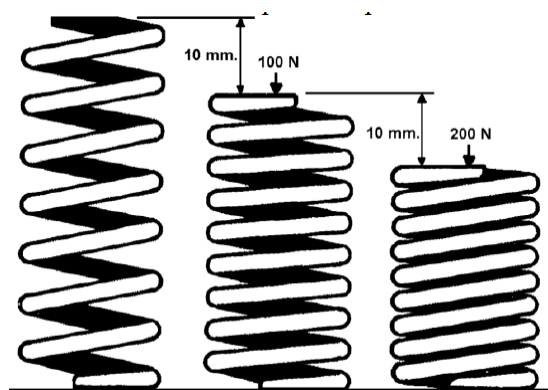


Fig.5. 1. Carga/compresión de muelle

La Fig.5.1 muestra el significado de la constante efectiva del muelle. El muelle tiene una constante efectiva de 10 N/mm, por cada 10 mm que queramos comprimir del muelle hacen falta 100 N de fuerza extra. Cuando llega al tope se convierte en un sólido rígido.

Los muelles se pueden hacer de múltiples formas y materiales, pero el rango práctico es más limitado. Los muelles helicoidales de acero son los más comunes por su largo recorrido. Pueden ser uniformes (constante efectiva lineal) o pueden ser variable (progresivos)

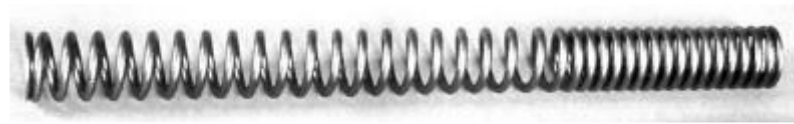


Fig.5. 2. Muelle de constante variable

Cuando se monta un muelle en un amortiguador, se somete a un poco de compresión, incluso cuando está completamente extendido, con lo que precarga el muelle hasta cierto punto. Esta precarga se puede expresar en términos de la compresión lineal del muelle (mm) o en términos de la carga o fuerza necesaria para dar esa compresión. En términos lineales, la precarga es la diferencia entre la longitud libre del muelle y la longitud cuando está instalado en el amortiguador.

El hundimiento o sag es la compresión que se produce en el muelle cuando se aplica el peso estático de moto y el piloto. Pero también usamos la palabra para describir el propio hundimiento de la moto. Es habitual seleccionar arbitrariamente un punto de medición de referencia en algún lugar de la zona de debajo del asiento y aproximado a la vertical del eje de la rueda. La altura de este punto por encima del suelo, al ser sometidos a la carga estática, se conoce como la altura del asiento. La diferencia entre la altura del punto de referencia con la suspensión extendida y la altura del asiento estática es la compresión de la moto.

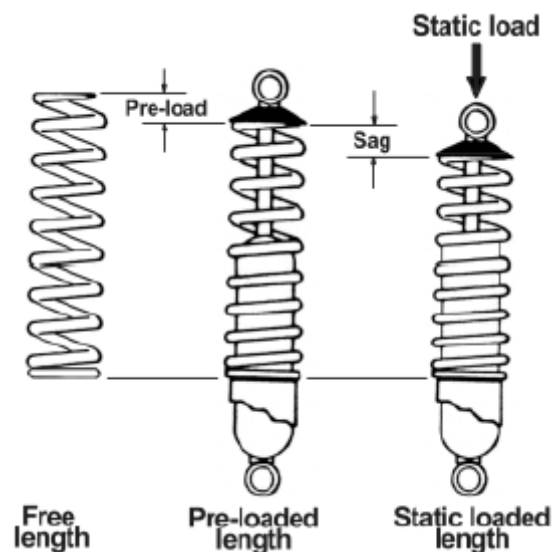


Fig.5. 3. Muelle de constante variable

5.2.2. Amortiguador MotoStudent

El amortiguador dotado por la Organización para todos los equipos inscritos en la Competición MotoStudent, esta desprovisto de regulación de compresión ni extensión, pero si tiene regulador de precarga. Es un amortiguador básico, limitando el funcionamiento de la suspensión Fig.5.4.

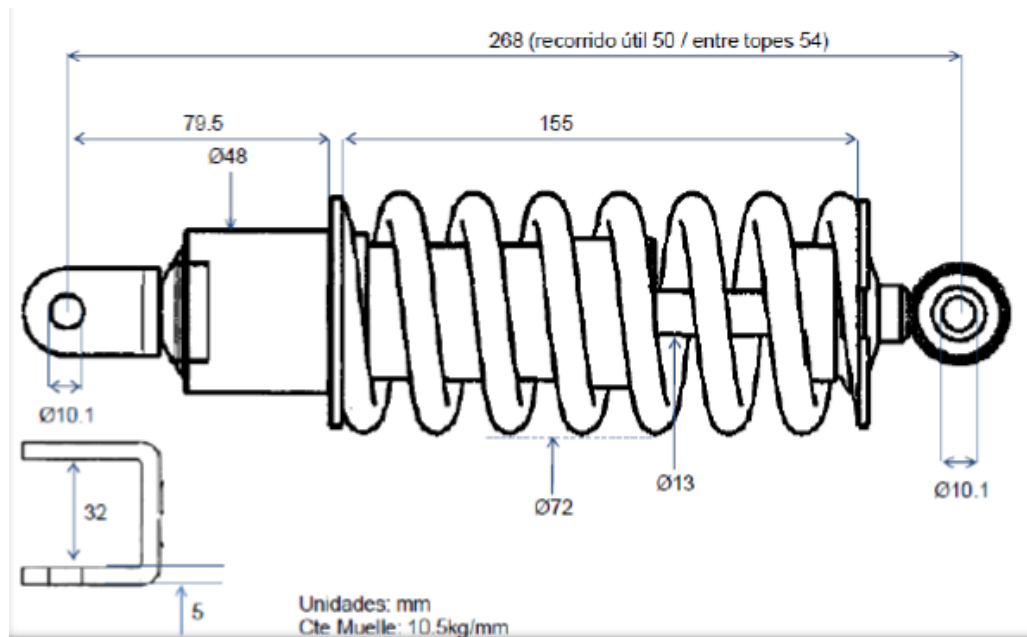


Fig.5. 4. Plano amortiguador trasero MotoStudent

5.3. Historia sistemas de bieletas

En los primeros años 70 se comenzó a poner mucha atención en la mejora de los sistemas de suspensión, especialmente en motocross y enduro, donde hubo una rápida tendencia a aumentar muchísimo el recorrido de las suspensiones, que pasó de una media de 100 mm a unos 305 mm en un corto espacio de tiempo. Resultaba complicado conseguir unos movimientos tan grandes con la ubicación tradicional de los amortiguadores, situados verticales cerca del extremo del basculante, así que no resulta extraño que fuera en el sector de la moto de campo donde se comenzara a poner más atención en aquellos diseños que aplicaban algún tipo de palanca al amortiguador para reducir su movimiento longitudinal. A parte de permitir utilizar un único amortiguador con un movimiento reducido, estos sistemas permitían un tremendo control geométrico de las propiedades de la constante del muelle. Se podía conseguir fácilmente progresividad, regresividad y combinaciones de ambas. La imagen de la Fig. 5.5 muestra cómo los brazos de palanca pueden cambiar drásticamente cuando una bieleta corta gira un ángulo relativamente grande, dando lugar a una gran progresividad de la constante.

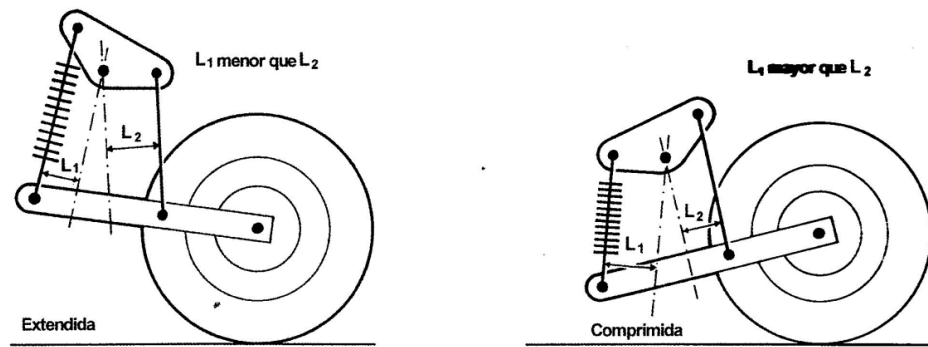


Fig.5. 5. Plano amortiguador trasero MotoStudent

Ejemplo de sistema de bieletas. Debido a que la relación $L_1:L_2$ varía con el movimiento de la rueda, este sistema de suspensión trasera da lugar a una constante progresiva tanto para el muelle como para el amortiguador. La constante elástica efectiva en la rueda varía según el cuadrado de la relación anterior. En la posición extendida el lado conectado al basculante tiene mayor ventaja mecánica y por tanto la constante será más blanda cuando el sistema está comprimido.

5.4. Constante efectiva de la rueda

De la misma manera que podemos caracterizar un muelle por su constante, podemos asignar a la rueda un valor al movimiento de la rueda. La constante de la rueda (Wheel rate) se define como el cambio en la fuerza vertical necesario para mover una unidad de desplazamiento la rueda verticalmente (N/mm). este parámetro y la constante del muelle están relacionados mediante el parámetro relación de velocidades (Velocity ratio, VR). Simplificando, es la velocidad vertical de la rueda comparada con la velocidad de compresión del muelle.

Para entender el efecto muelle en la rueda, debemos estudiar los movimientos relativos o desplazamientos de ambos.

En la siguiente imagen se puede ver el significado de VR y como las constantes de la rueda y el muelle se relacionan entre sí cuando el $VR=2:1$. La constante requerida en el muelle es cuatro veces la tasa de la rueda. De aquí sacamos las relaciones:

$$\text{Constante de la rueda} = \frac{\text{Constante del muelle}}{VR^2}$$

$$\text{Constante del muelle} = \text{Constante de la rueda} * VR^2$$

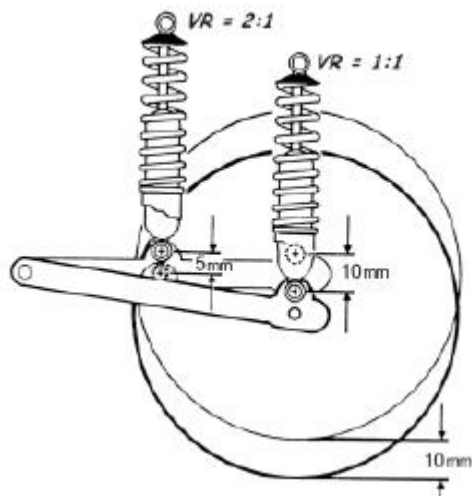


Fig.5. 6. Relación desplazamiento rueda/muelle

El rango de movimiento vertical de la rueda depende de la posición del muelle, si está más hacia adelante, el rango aumenta, esto empezaron a hacer con las motos de monte para conseguir más rango de movimiento en la rueda trasera.

Para calcular la relación entre la constante de la rueda y la del muelle, en un sistema de bieletas tenemos que calcular la relación de velocidades. Se puede hacer de manera simple si consideramos el sistema como dos partes separadas, cada una con su propio VR. La de todo el sistema será simplemente el producto de ambas por separado. La Fig. 5.7 muestra como un sistema de balancín-bieleta puede separarse en un sistema balancín-amortiguador-bieleta y en otro rueda-bieleta. El VR total será:

$$VR = Lw/L1 * L2/L1$$

Este valor normalmente varía en todo el rango de movimiento dando una característica no lineal.

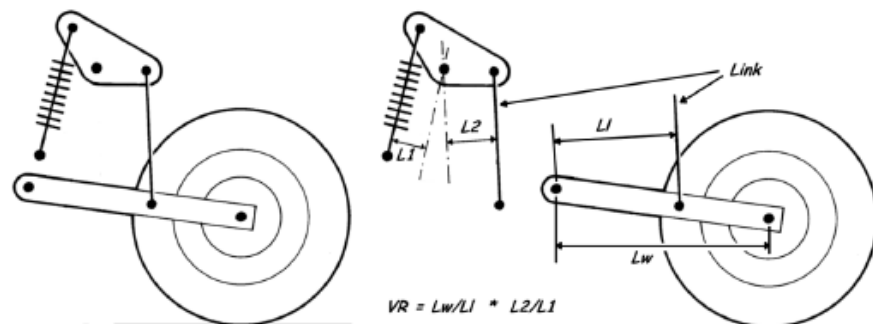


Fig.5. 7. Separación sistema balancín-bieleta

Estos sistemas daban a los fabricantes un nuevo campo donde investigar y hacer mercado, dando lugar a numerosas mejoras que realmente no tienen ninguna base y dan lugar a

confusiones. Para comparar unos diseños con otros solo hace falta tener en cuenta unas pocas características:

- Peso del sistema.
- Masa no suspendida.
- Integridad estructural.
- Características de la constante del muelle y de amortiguación.
- Compacidad. Factor de gran importancia debido al poco espacio disponible en la motocicleta.
- Número de articulaciones. Cada una es fuente de holguras y rozamientos que van en detrimento del buen comportamiento del sistema.

5.5. Squat y hundimiento

Estos son términos que se refieren a cambios de cabeceo y altura de la parte suspendida de la moto. El hundimiento es un cabeceo hacia adelante que ocurre normalmente al frenar, mientras que el squat se refiere a una rotación hacia atrás normalmente debida a la aceleración y a las fuerzas aerodinámicas. Si no existe algún mecanismo para evitarlo, es obvio que la transferencia de carga bajo aceleración causará algo de squat, o sea que la parte de delante se levantará y la de atrás se hundirá. En la práctica la cantidad de compresión de la suspensión se ve total o parcialmente compensada por ciertas reacciones del basculante y otros aspectos de tipo geométrico. Dependiendo del diseño, las fuerzas de aceleración o frenada y sus reacciones internas pueden causar que la suspensión se extienda o se comprima. Esto ocurre con motocicletas con transmisión secundaria por cadena o por cardan.

5.5.1. Transmisión por cadena

Como muestra la Fig.5.8, con el basculante y la cadena apuntando hacia arriba, la componente vertical de la fuerza de la cadena es hacia abajo y actúa favoreciendo el pro-squat, la componente vertical de la fuerza del basculante es mayor y actúa hacia arriba produciéndose así un efecto global de anti-squat.

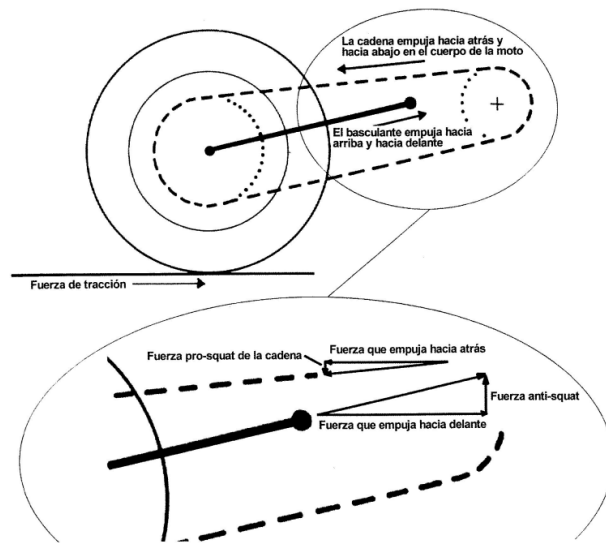


Fig.5. 8. Pro-Squat

Si la suspensión se comprime más allá de la posición horizontal, el extremo delantero de la cadena y el basculante, apunta hacia abajo. Cuando esto ocurra el tiro de la cadena producirá un efecto anti-squat, mientras que la fuerza del basculante actuará produciendo un efecto opuesto de squat. Podemos determinar si el efecto global es pro-squat o anti-squat construyendo una línea de fuerza tal y como se muestra en la Fig.5.9.

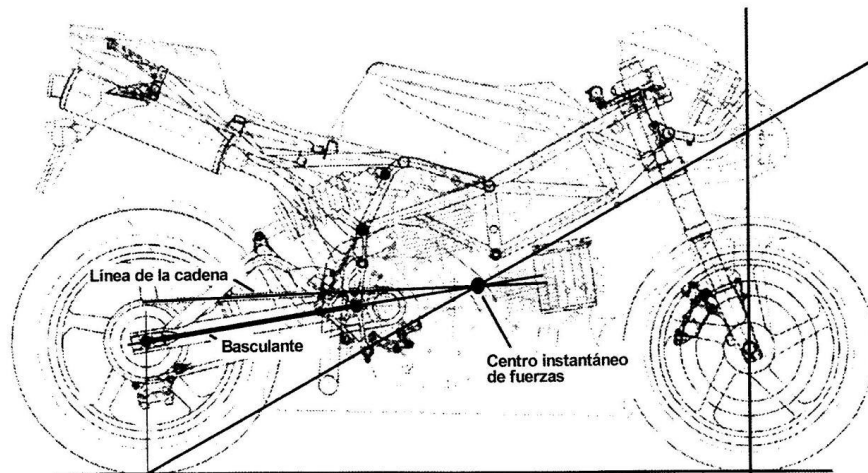


Fig.5. 9. Líneas de fuerzas

Podemos ver que las inclinaciones de las líneas de fuerza son muy similares en todos los casos y están muy cercanas al nivel necesario para asegurar un acoplamiento mínimo entre el movimiento de la suspensión trasera y los efectos que se producen al acelerar. De todas formas, la situación puede cambiar de forma radical a lo largo del recorrido de la suspensión. Conforme la suspensión trasera se comprime por cualquier motivo, generalmente el efecto anti-squat disminuirá y en

algunos casos se transformará en pro-squat, esto produce un efecto equivalente a una reducción de la dureza del muelle trasero.

La Fig.5.10 muestra la posición de la línea de fuerza para distintos valores de anti-squat.

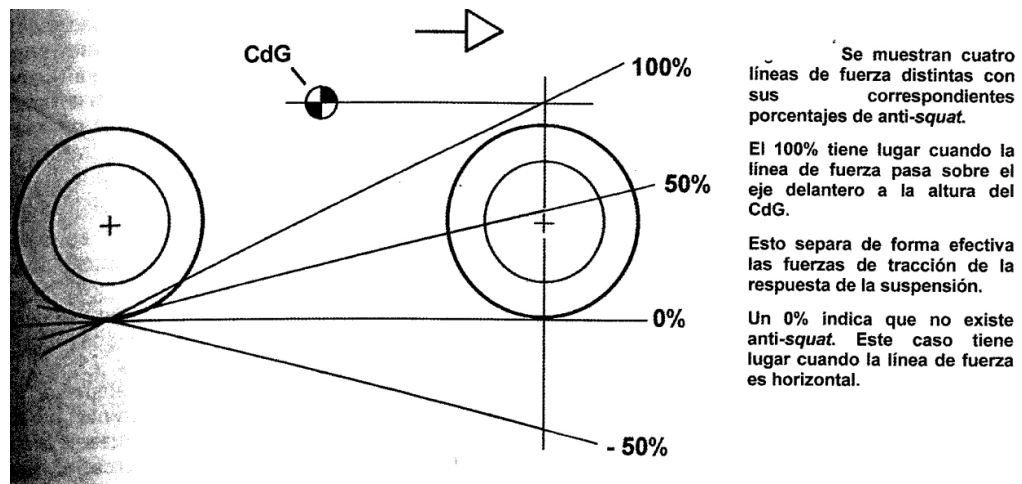


Fig.5. 10. Porcentajes de anti-squat

5.5.2.Resultado

El valor de anti-squat a conseguir es complicado de decidir, no existe un valor ideal al que se tenga que llegar, es un valor que indica el comportamiento de la motocicleta al acelerar.

Se busca que la suspensión no se comprima mucho durante la aceleración, para ello, se intentará acercar el valor de anti-squat cercano al 100%.

5.6. Selección sistema de suspensión

No hay una fórmula que indique que tipo de suspensión es la que mejor se va a comportar, sino que hay varios factores que influyen en la elección, como pueden ser el confort ante pequeños baches, almacenamiento de energía en el bache (importante que no haya rebotes) aunque la Competición MotoStudent limita el uso del amortiguador al proporcionado por la Organización. El piloto es un factor muy importante, ya que no responde cada persona igual a las reacciones de la moto.

A la hora de elegir el sistema de suspensión adecuado, tuvimos en cuenta los siguientes factores de comparación:

- Peso del sistema. No es el requisito más importante, pero su peso no debe ser excesivo.

- Masa no suspendida. Interesa que sea la mínima posible.
- Integridad estructural. ¿Es suficientemente rígido y resistente?
- Características de la constante del muelle y de amortiguación. ¿Cómo varía la constante con la compresión de la suspensión?. Se tiene que valorar el comportamiento de la moto que interesará. Adecuándolo según las características del muelle.
- Compacidad. Normalmente el espacio es un factor de gran importancia, especialmente en la actualidad, con airbox de gran capacidad. Va a ser uno de los factores más importantes a tener en cuenta, ya que es una zona complicada, en la que puede haber muchos conflictos con el espacio (paso de cadena, zona de anclaje del amortiguador...)
- Número de articulaciones. Cada una es una fuente de rozamiento y holguras, ambas cosas van en detrimento del buen comportamiento de la suspensión. Por este motivo es conveniente minimizar el número de articulaciones del sistema. Aunque no siempre es uno de los puntos más importantes a seguir.

5.6.1. Tipos de sistema de suspensión

A continuación se expondrán las distintas formas que existen para colocar la suspensión trasera, y su aportación al comportamiento general de la motocicleta.

5.6.1.1. Conexión directa chasis-basculante

En primer lugar, tenemos el amortiguador colocado directamente entre el basculante y el chasis, sin ningún tipo de bieleta.

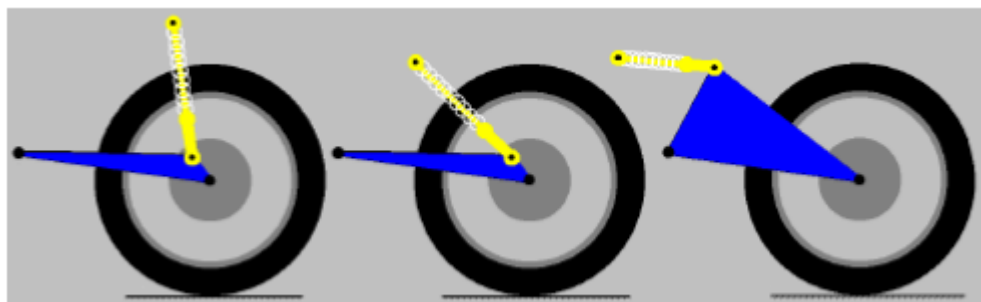


Fig.5. 11. Suspensión directa chasis-basculante

En la imagen de la izquierda, el amortiguador está situado casi en el eje trasero de la rueda (estándar), y de forma bastante vertical. En medio se observa el amortiguador anclado en la misma zona del basculante, pero esta vez de forma más inclinada (angled) y por último, el amortiguador prácticamente horizontal, y más elevado que los dos casos anteriores

(cantiléver). Para que sea comparativo, se han arreglado los parámetros para que tengan el mismo recorrido de suspensión, la misma capacidad de absorción de energía y la misma cantidad de sag (hundimiento del muelle).

En las gráficas siguientes se puede ver cuál sería el resultado de estos sistemas tan sencillos

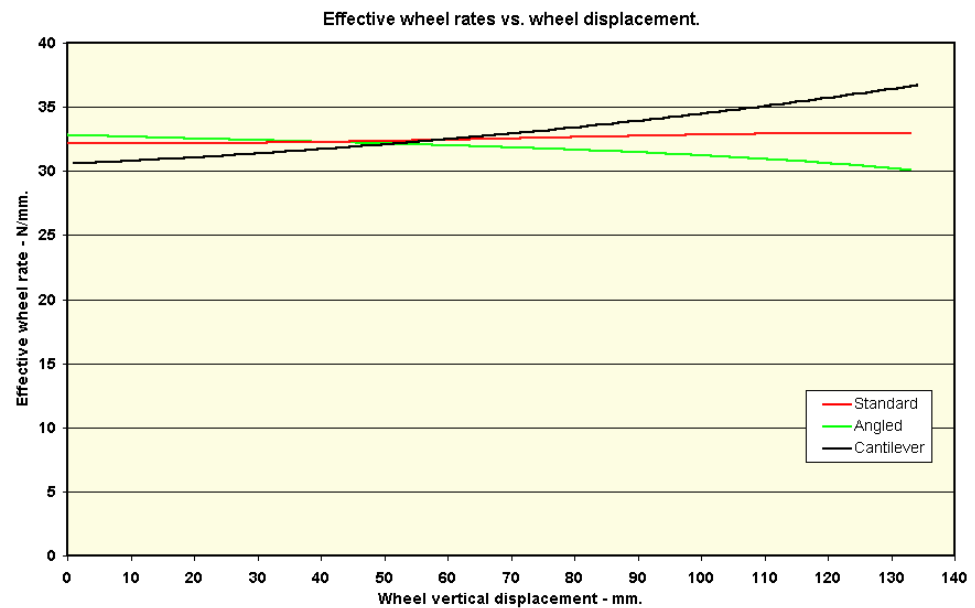


Fig.5. 12. Gráfica cte. efectiva rueda vs desplazamiento rueda (caso 1)

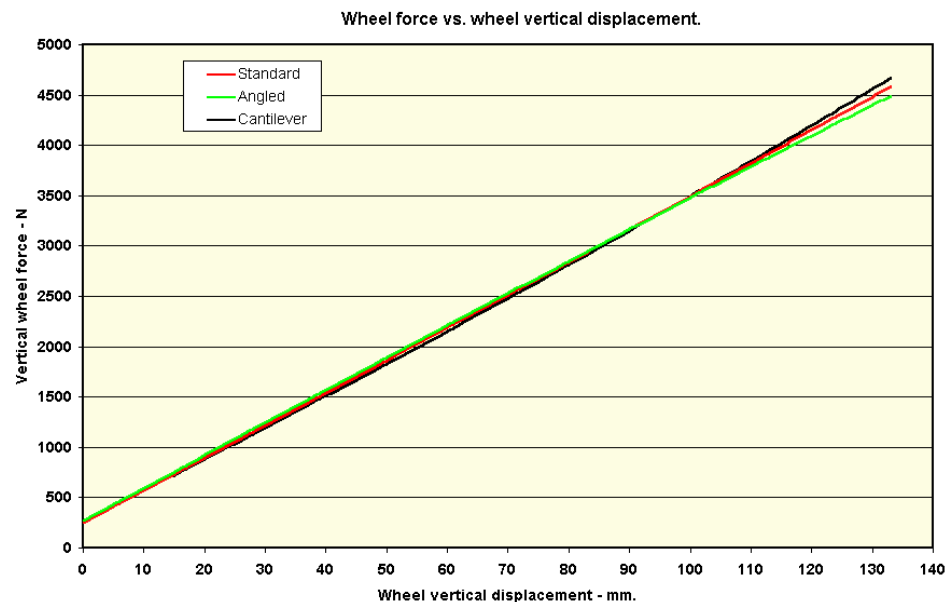


Fig.5. 13. Gráfica fuerza rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 1)

El punto principal a tener en cuenta en estos ejemplos de montaje directo al basculante es, pese a ser los de montaje y funcionamiento más sencillo, es difícil conseguir algo más que una pequeña variación de la constante de la rueda en el rango de compresión del muelle.

5.6.1.2. Sistema básico de bieletas

A continuación se procederá a ver el comportamiento de la suspensión con bieletas y balancines. Hay muchas formas distintas y muchas veces se trata simplemente de las condiciones de espacio disponible lo que determina la disposición exacta. En general, es posible lograr características similares con cualquier disposición mediante la selección de las dimensiones adecuadas de los componentes principales. A continuación, tres ejemplos de una infinidad de diseños:

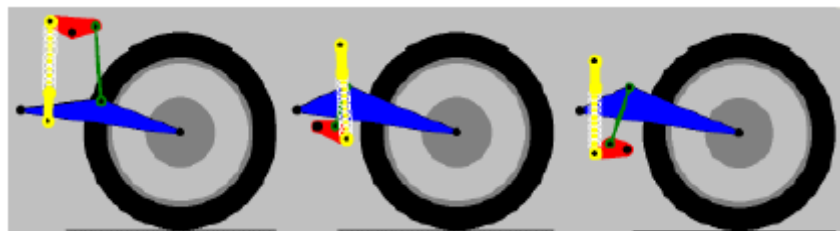


Fig.5. 14. Suspensión por bieletas

Para ver cómo influyen algunos pequeños cambios en la configuración de este tipo de amortiguadores se va a estudiar el siguiente ejemplo:

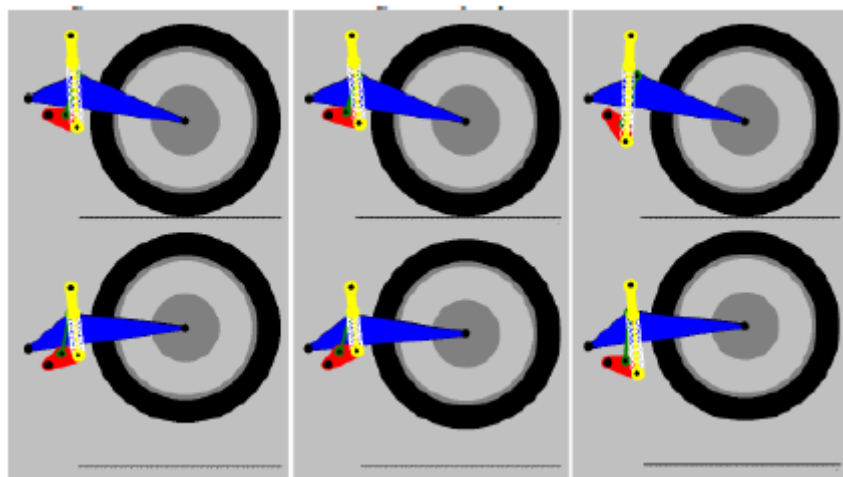


Fig.5. 15. Posiciones de bieletas

En primer lugar, se tiene la posición básica, en medio, el rocker a rotado debido a que se ha acortado la longitud del link y del amortiguador (para mantener la posición del piloto) y a la derecha el rocker ha girado en sentido contrario a la anterior (alargando el link y el

amortiguador). La Fig.5.15 muestran las suspensiones en su momento de compresión máxima.

Al igual que en el ejemplo anterior, las condiciones son las mismas para que el análisis sea comparativo.

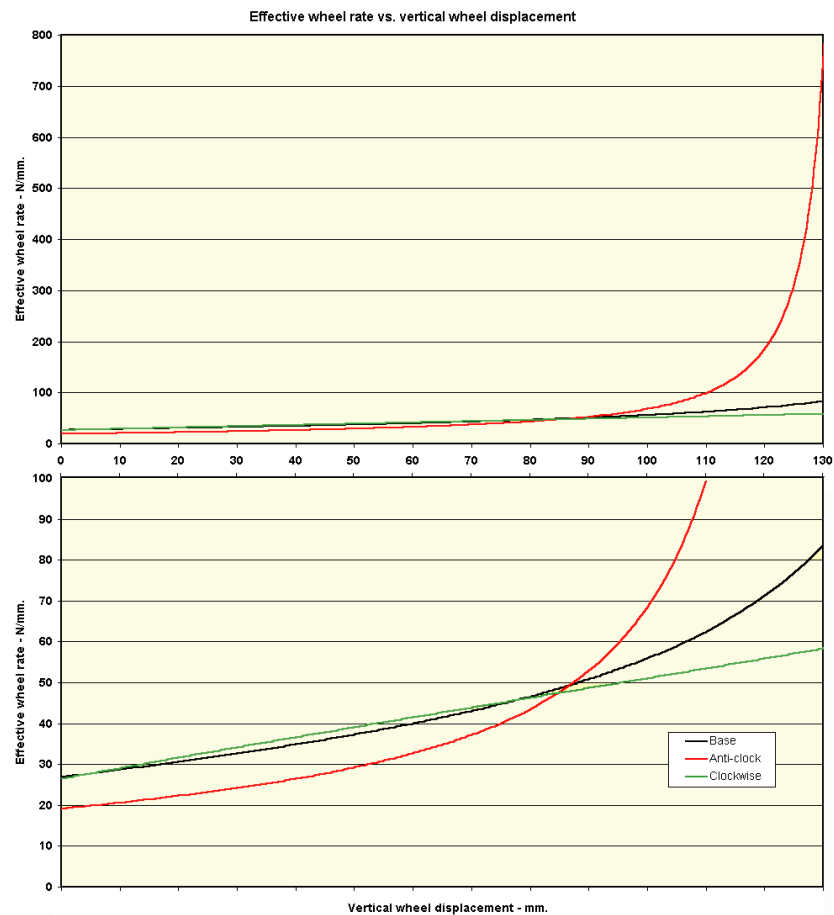


Fig.5. 16. Gráfica cte. efectiva rueda vs desplazamiento rueda (caso 2)

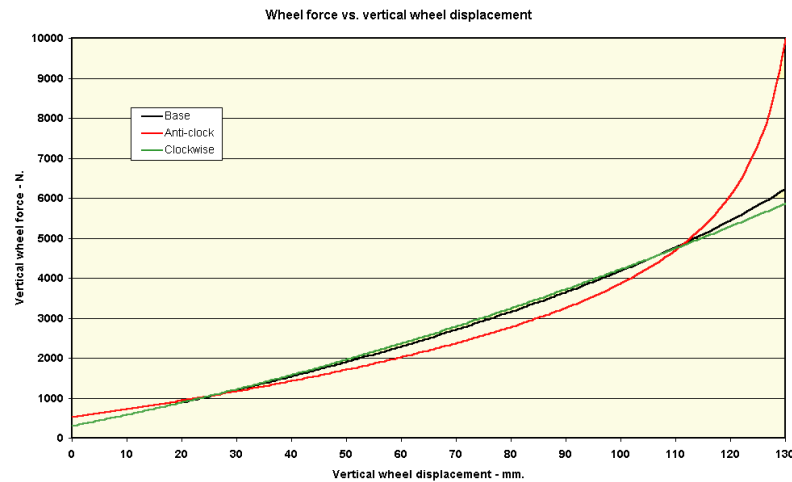


Fig.5. 17. Gráfica fuerza rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 2)

Esto pone de manifiesto que el caso con el amortiguador y el enlace más cortos tienen un carácter altamente progresista que realmente surge a partir de unos 90 mm de compresión. Es interesante observar que al modificar alargando el link y el amortiguador se pierden estas características tan progresivas, se suaviza la curva.

Para ver por qué las características cambian tanto en el caso de la izquierda hay que mirar más de cerca la posición oscilante hacia el final del movimiento.

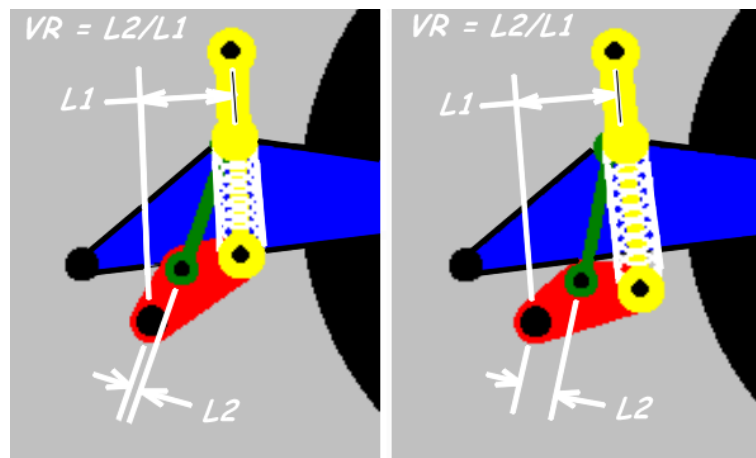


Fig.5. 18. Posición de bieletas. Relación de velocidades

Podemos observar que en este caso la relación de velocidades es igual a $L2/L1$. Tenemos la fórmula que relaciona las constantes del muelle y de la rueda:

$$\text{Constante de la rueda} = \frac{\text{Constante del muelle}}{VR^2}$$

En este caso, la relación de velocidades tiende a ser cero, ya que $L2$ disminuye hasta convertirse prácticamente en cero, lo que explica que la gráfica tienda hacia el infinito. Esto

significa que la fuerza necesaria para mover la rueda es infinita, o lo que es lo mismo, es imposible seguir moviendo la rueda. El significado real de esto es que el eje del balancín y los dos extremos del link están en línea, evitando que la rueda se mueva más. Esta es una situación de bloqueo que los diseñadores deben evitar a toda costa.

Estos tres casos del mismo diseño básico nos permiten demostrar hasta qué punto puede lograrse una amplia gama de características mediante cambios relativamente pequeños en el detalle del diseño.

5.6.1.3. Sistema de bieletas con balancín situado en el basculante

Por último, el caso en el que el rocker o balancín está montado directamente sobre el basculante. En la Fig.5.19 se puede ver una configuración con pequeñas variaciones:

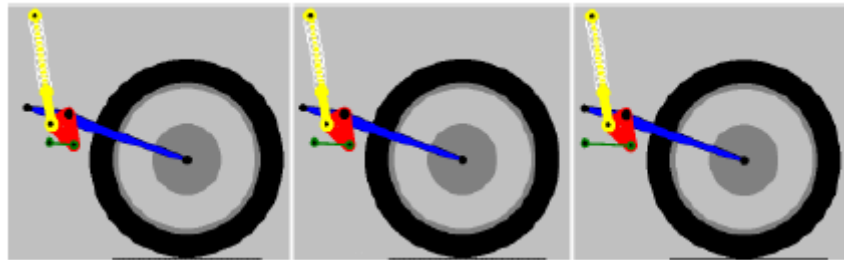


Fig.5. 19. Balancín en el basculante

Como ejemplo de esta clase de suspensión de diseño vamos a considerar un diseño especial, similar al utilizado en algunas Hondas. Para tener una idea de cómo las características se pueden ajustar en un rango amplio, la única diferencia entre los tres casos es la longitud del enlace y su lugar de montaje.

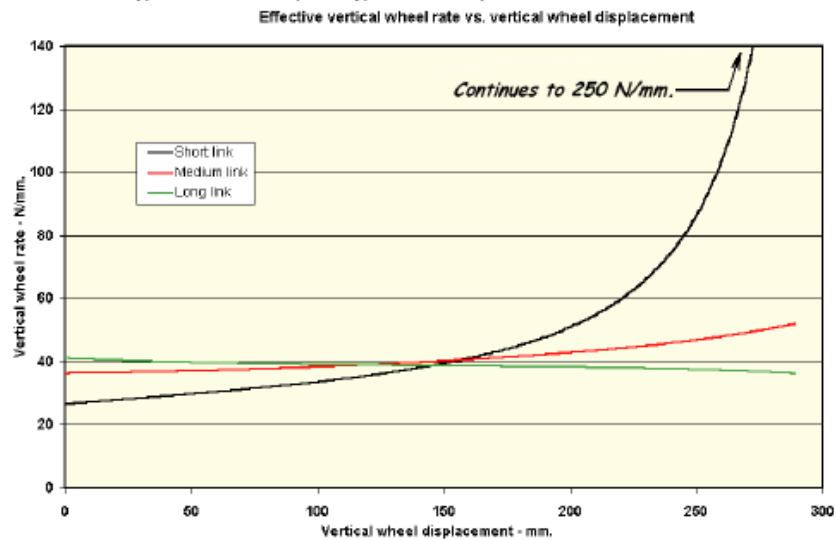


Fig.5. 20. Gráfica comparativa Cte. Efectiva rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 3)

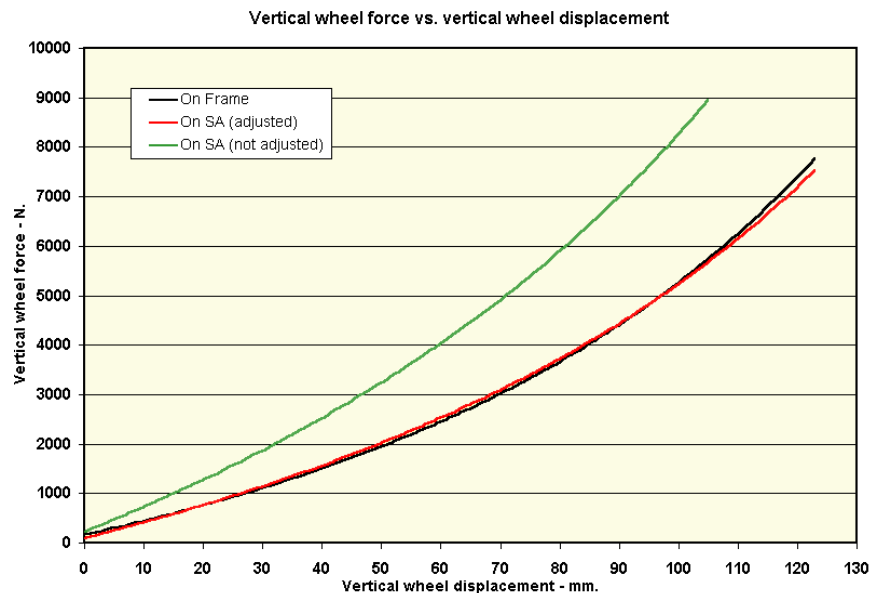


Fig.5. 21. Gráfica comparativa fuerza vertical rueda vs desplazamiento vertical rueda (caso 3)

Se puede observar que la bieleta corta les brinda un efecto altamente progresivo y la de tamaño medio produce un efecto ligeramente progresivo. El caso de la más larga en cambio, se aprecia un carácter regresivo, en otras palabras, la tasa efectiva disminuye con la compresión del muelle (se vuelve más blanda). Así se puede observar que se pueden lograr casi cualquier fuerza y propiedades de desplazamiento deseadas con este diseño básico con sólo hacer pequeños cambio en los componentes.

5.6.2.Comportamiento a conseguir

La elección del sistema deseado se antoja complicada, no hay una fórmula que diga cuál es la mejor solución para este caso en concreto. La amortiguación de la moto no tiene la única función de aislar la moto y el piloto de los baches, sino que plantea otras muchas demandas, por ejemplo, en una curva el piloto y la moto sufren una carga adicional de entorno al 50% incluso en una carretera perfectamente lisa, también existen efectos de transferencia de carga tanto en frenada como en aceleración e incluso una moto tiene que estar preparada para amortiguar un salto, y que todo ello sea de la forma más cómoda posible para el piloto.

A la hora del diseño, el factor más importante a tener en cuenta va a ser la constante efectiva de la rueda, que es lo que refleja el comportamiento de la suspensión, y de la moto en definitiva, a la hora de tomar un bache o recibir simplemente una fuerza en la rueda.

No es fácil saber cuál es la constante efectiva buscada, ya que esto se basa en la experiencia, el clásico prueba-error.

Si se puede hacer una idea de lo buscado, pero encontrar el valor exacto requiere tiempo y experiencia. Para empezar, hay que tomar una motocicleta de referencia y estudiar su comportamiento estático, con lo que se intentará aproximar el valor de la constante buscado al de la motocicleta de referencia.

Para ello se tomará como referencia una motocicleta similar a la que se quiere conseguir. Las motos comerciales están diseñadas para que sean cómodas y fáciles de conducir, mientras que en las de competición se busca más agresividad aunque el manejo sea más complicado.

La motocicleta que se toma como referencia es una Honda RS 125, motocicleta con muy buenos resultados en las distintas competiciones regionales y nacionales.

Los datos obtenidos de esta motocicleta nos dan una buena idea del rango por el cual debe ir la constante efectiva de la rueda buscada. En el inicio está en torno a 18N/mm y aumenta de forma lineal hasta llegar a 21N/mm aproximadamente, con una ligera curva final.

5.6.3.Elección del sistema de bieletas

Tenemos que ver cuál de los sistemas de suspensión antes estudiados es el que nos interesa colocar, teniendo en cuenta nuestros deseos, vamos a valorar los pros y los contras de cada uno de ellos:

- Anclaje directo al basculante. este sistema tiene la gran ventaja de su simplicidad, que simplificaría la fabricación y abarataría el coste, sin embargo, con este tipo de suspensiones se puede conseguir cierta progresividad, pero quizás no tanto como se desea en la parte final.

- Sistema tradicional de bieletas. este tipo de sistemas permite jugar más con las progresividades, ya que alargando o acortando la biela únicamente se pueden conseguir grandes variaciones en la gráfica de la constante de la rueda. La pega de estos sistemas es que son más complejos que el anclaje directo, y ocupa más espacio y tiene mecanismos que diseñar, aumentando de peso el sistema.
- Sistemas de bieletas con el balancín anclado en el basculante. es muy parecido al anterior, permite aumentar el valor de la constante de la rueda en el último tramo. El espacio ocupado también es similar al anterior.

Al analizar las tres opciones, se observa que la primera no puede ofrecer lo que se busca, por lo que se descarta definitivamente. Entre las otras dos opciones, se podría elegir cualquiera de las dos, al ser muy similares en comportamiento y espacio.

Para este caso en particular se estudiará el segundo sistema “sistema tradicional de bieletas”, como se muestra en la Fig.5.22.

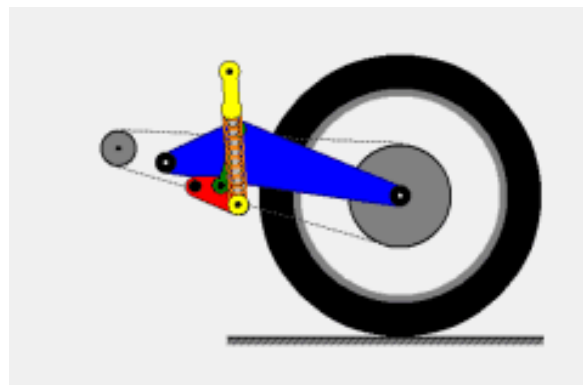


Fig.5. 22. Sistema tradicional de bieletas

5.7. Estudio sistema de suspensión

Para realizar el estudio del sistema de suspensión seleccionado, se hará uso del programa informático de cálculo de suspensiones desarrollado por Tony Foale, experimentado diseñador de motocicletas, Motorcycle Kinematics. El programa es usado por numerosos expertos en suspensiones para optimización de suspensiones en equipos de motociclismo. Es un programa sencillo, donde introduciendo una serie de inputs, se obtienen outputs, en forma de datos y graficas que describen el comportamiento del sistema de suspensión a estudiar.

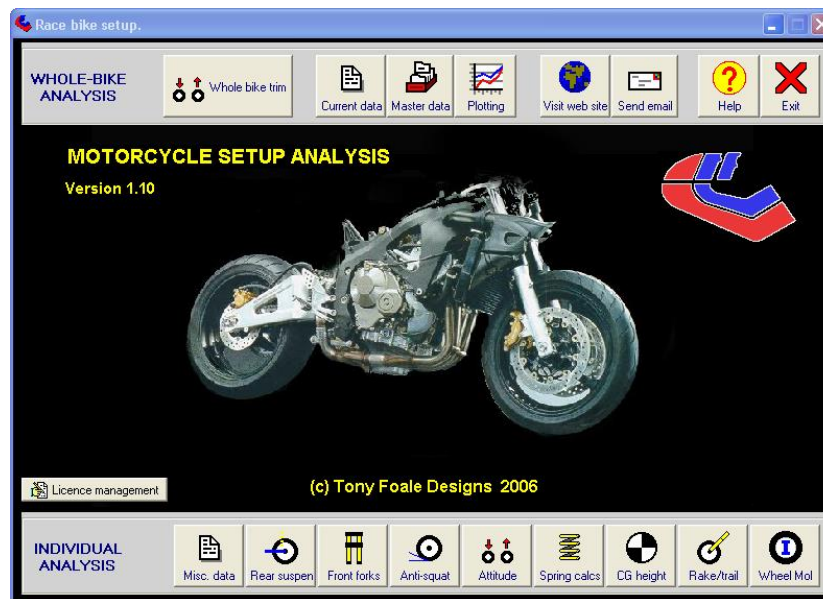


Fig.5. 23. Programa Motorcycle Kinematics

5.7.1.Inputs

Se procederá a introducir una serie de datos requeridos para el estudio de suspensiones, descritos a continuación.

- Datos generales (Miscellaneous data)
- Selección de sistema de suspensión
- Dimensiones de basculante
- Amortiguador
- Bieletas
- Sistema de cadena y piñón-plato

Una vez introducidos los datos necesarios para configurar el sistema, se estudiarán los efectos que tienen las modificaciones en los datos sobre la gráfica de la constante de la rueda.

5.7.1.1. Datos generales

Inicialmente se introducen una serie de datos generales en de la motocicleta, llamados en el programa Miscellaneous Data:

Miscellaneous data

Front wheel weight	10	Kgf.
Rear wheel weight	12.5	Kgf.
Front wheel Mol	-1	Kg.m ²
Rear wheel Mol	-1	Kg.m ²
Load on front tyre	74.25	Kgf.
Load on rear tyre	74.25	Kgf.
Y coord of CG	600	mm.
Front tyre radius	288	mm.
Rear tyre radius	296	mm.
Rake angle	22	deg.
Fork offset	45	mm.
Wheel base	1302.5	mm.
Y ride height ref.	730	mm.
Trail	67.8	mm.
Wt. balance % - F/R	50.0/50.0	

Peso rueda delantera	10
Peso rueda trasera	12.5
Momento de inercia *	-1
Carga rueda delantera	74.25
Carga rueda trasera	74.25
Altura del CDG	600
Radio neumático delantero	288
Radio neumático trasero	296
Ángulo de lanzamiento	22
Offset tija	45
Distancia entre ejes	1302.5
Altura asiento piloto	730
Avance	67.8
Balance de pesos	50.0/50.0

Tabla 7. Datos generales (Miscellaneous Data)

*Momento de inercia: Se introduce el dato -1, para que el programa lo tome como desconocido.

Al recibir estos datos, el programa calcula el avance de la moto (trail) y balance de pesos (Wt. Balance %).

Esta serie de entradas han sido seleccionadas de la motocicleta MS2, motocicleta competidora en la II Edición de MotoStudent donde se obtuvieron buenos resultados en los aspectos geométricos y con los cuales se trabaja para el desarrollo de la motocicleta estudiada en este momento.

5.7.1.2. Selección de sistema de suspensión

En este módulo, llamado “Rear suspension”, se elige el sistema de suspensión requerido para su estudio.

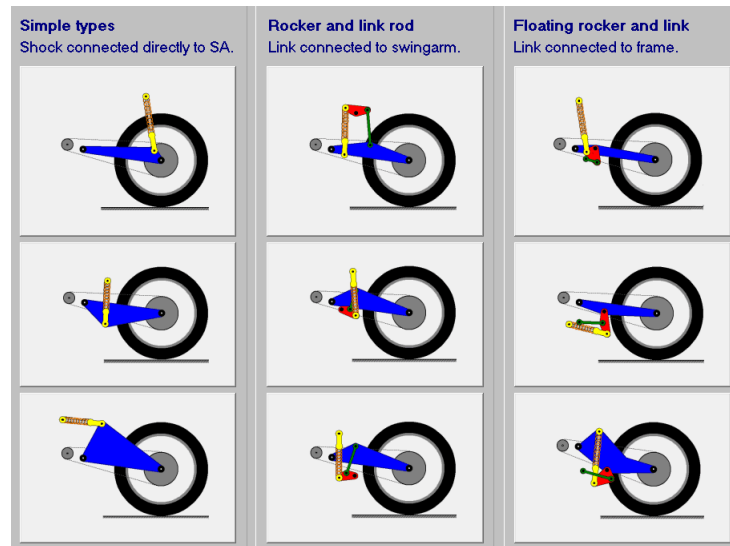


Fig.5. 24. Selección de sistema de suspensión (Rear suspension)

Se selecciona la suspensión que se pretende estudiar descrita en el [Capítulo 5.6.3 “Elección del sistema de bieletas”](#) de este proyecto. El sistema anteriormente mencionado está compuesto por un amortiguador conectado su extremo superior al chasis e inferior al balancín (rocker), balancín conectado al chasis y tirante (link) al basculante.

Una vez seleccionado el tipo de sistema de suspensión se procederá a la introducción del resto de datos.

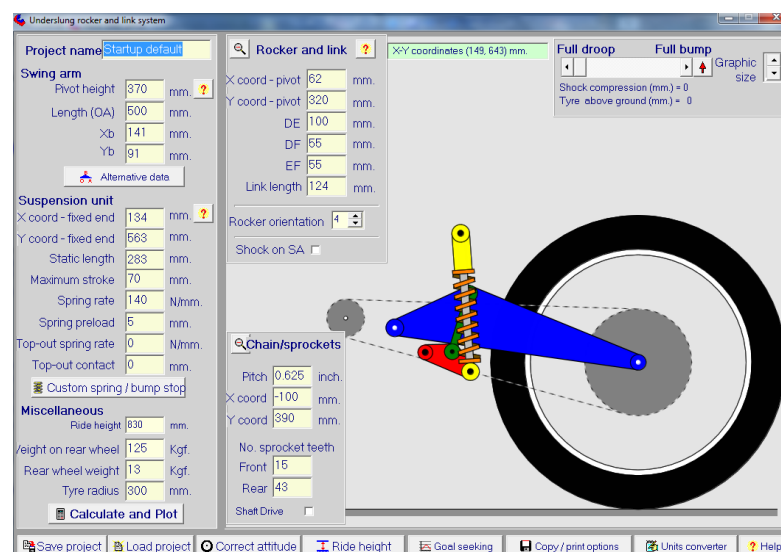
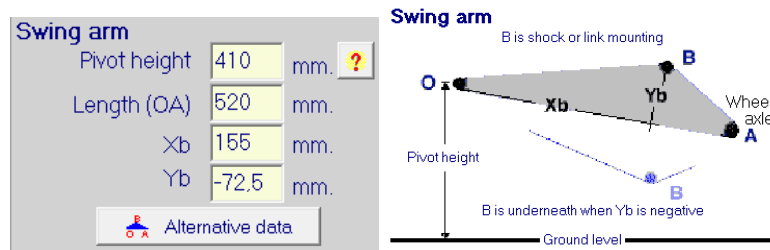


Fig.5. 25. Módulo de inputs

5.7.1.3. Dimensiones basculante

Se introducen las dimensiones del basculante exigidas por el programa. Para las dimensiones del basculante se toma como referencia la motocicleta MS2 participante en la II Edición MotoStudent además de motos comerciales de competición, el basculante tiene que tener una longitud de entre 500 y 530 mm, según se ha visto en otros basculantes de la competencia y en libros especializados.

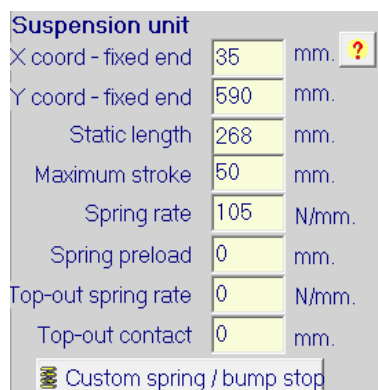


Altura pivot	410
Longitud (OA)	520
Xb	155
Yb	-72.5

Tabla 8. Módulo de inputs basculante

5.7.1.4. Unidad de suspensión

Se introducen los datos referidos a la suspensión utilizada para el sistema de suspensión a estudiar.

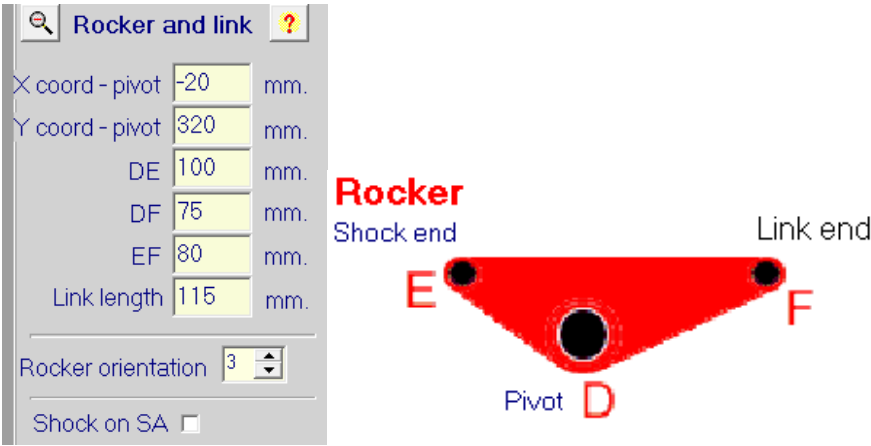


Coord. X	35
Coord. Y	590
Longitud	268
Compresión máxima	50
Constante muelle	105
Precarga muelle	0

Tabla 9. Módulo de inputs unidad de suspensión

5.7.1.5. Sistema de bieletas

Es el denominado Rocker and link, donde se introducen los datos del rocker (balancín) y link (tirante o bieleta)



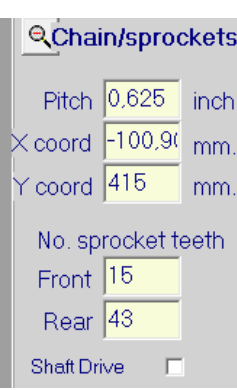
Coord. X - Pivot	-20
Coord. Y - Pivot	320
DE	100
DF	75
EF	80
Longitud link	115
Orientación Rocker	3

Tabla 10. Módulo de inputs sistema de bieletas

Las posiciones de los anclajes del amortiguador se consensuan con el diseñador del chasis, en este caso, Antonio Andrés López Herrera, para que las dimensiones del chasis sean acordes a la zona de los alojamientos para estos anclajes del sistema de suspensión.

5.7.1.6. Sistema de cadena y piñón – plato

En este módulo se introducen los datos correspondientes a la cadena, piñón y plato.

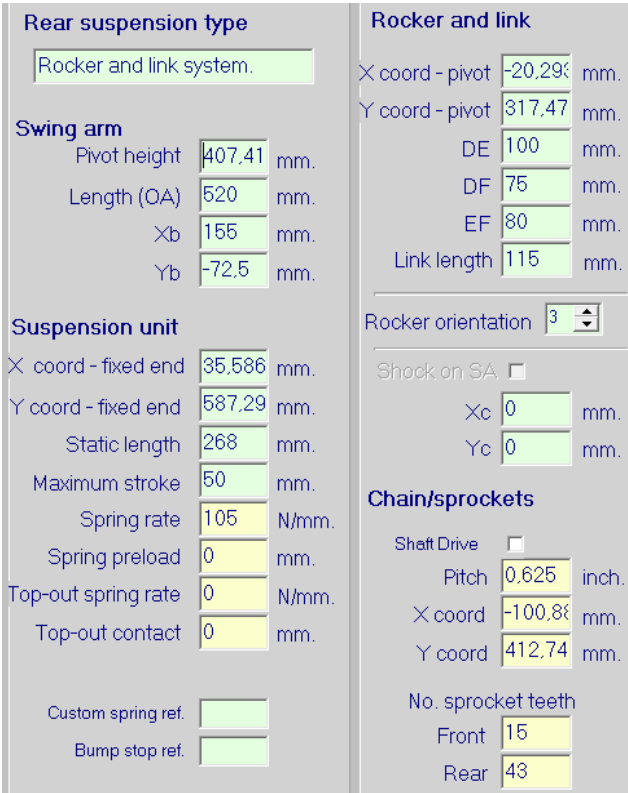


Paso	0.625
Coord. X	-100.90
Coord. Y	415
Nº dientes piñón	15
Nº dientes plato	43

Tabla 11. Módulo de inputs sistema de cadena y piñón - plato

5.7.1.7. Datos finales

Se llega a la conclusión de que cada cambio que se realiza en una entrada de datos del sistema afecta directamente a otros, por lo tanto, no se pueden modificar dichos datos de manera independiente. Finalmente, se obtiene la curva aproximada lo deseado.



Rear suspension type Rocker and link system.	Rocker and link X coord - pivot: -20.29 mm. Y coord - pivot: 317.47 mm. DE: 100 mm. DF: 75 mm. EF: 80 mm. Link length: 115 mm. Rocker orientation: 3 Shock on SA: <input type="checkbox"/> Xc: 0 mm. Yc: 0 mm.
Swing arm Pivot height: 407.41 mm. Length (OA): 520 mm. Xb: 155 mm. Yb: -72.5 mm.	Chain/sprockets Shaft Drive: <input type="checkbox"/> Pitch: 0.625 inch. X coord: -100.8 mm. Y coord: 412.74 mm. No. sprocket teeth Front: 15 Rear: 43
Suspension unit X coord - fixed end: 35.586 mm. Y coord - fixed end: 587.29 mm. Static length: 268 mm. Maximum stroke: 50 mm. Spring rate: 105 N/mm. Spring preload: 0 mm. Top-out spring rate: 0 N/mm. Top-out contact: 0 mm. Custom spring ref.: Bump stop ref.:	

Tabla 12. Módulo de inputs finales

Este sería el esquema de cómo queda la suspensión, con el sistema elegido, con el amortiguador relajado y a compresión máxima.

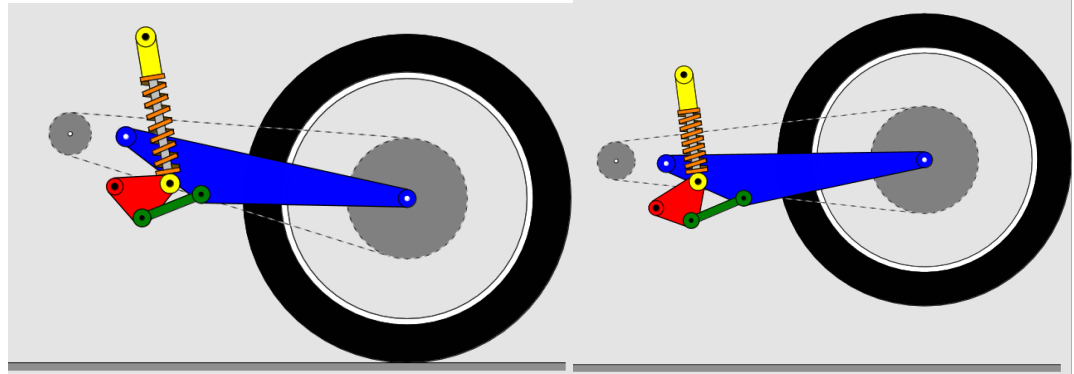


Fig.5. 26. Suspensión relajada/compresión máxima

La rueda en compresión máxima llega a una altura en coordenada Y, de 110mm, este valor está dentro del rango para este tipo de motocicletas de competición.

5.7.2.Outputs

Los parámetros que han condicionado el estudio de la suspensión, y en particular la constante efectiva de la rueda, han dado lugar a una serie de datos de salida que se expondrán a continuación.

El parámetro principal que se ha tenido más en cuenta para el estudio y el que ha definido la validez del sistema es la constante efectiva de la rueda, el valor buscado debía empezar en torno a los 18N/mm y terminar en torno a 21 N/mm con un aumento de la progresividad al final. La grafica dada por el programa se muestra a continuación:

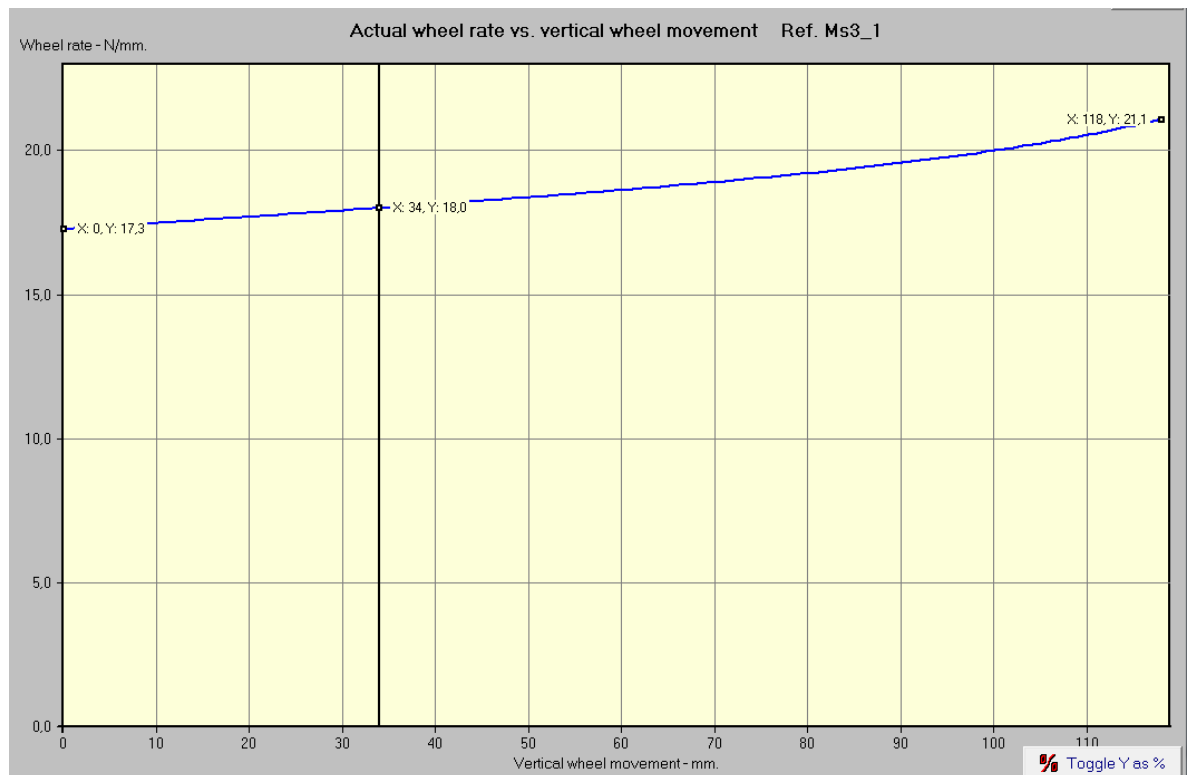


Fig.5. 27. Gráfica constante rueda vs movimiento vertical rueda

El programa obtiene otra serie de datos, cuyos resultados se exponen a continuación:

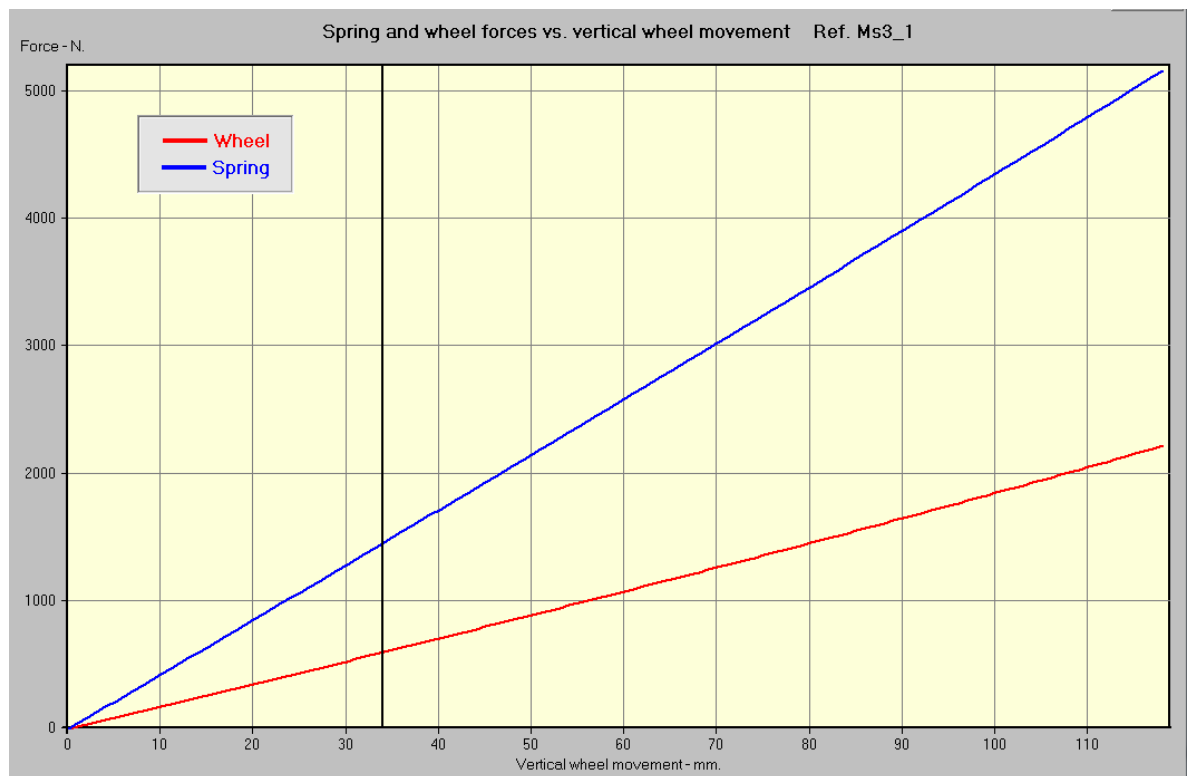


Fig.5. 28. Gráfica Fuerzas muelle y rueda vs movimiento vertical rueda

El dato de fuerza del amortiguador es útil para dimensionar posteriormente, el anclaje del amortiguador al chasis y la unión con el rocker. También es de gran utilidad el dato de la fuerza a compresión máxima sobre el eje trasero de la rueda como hipótesis de carga.

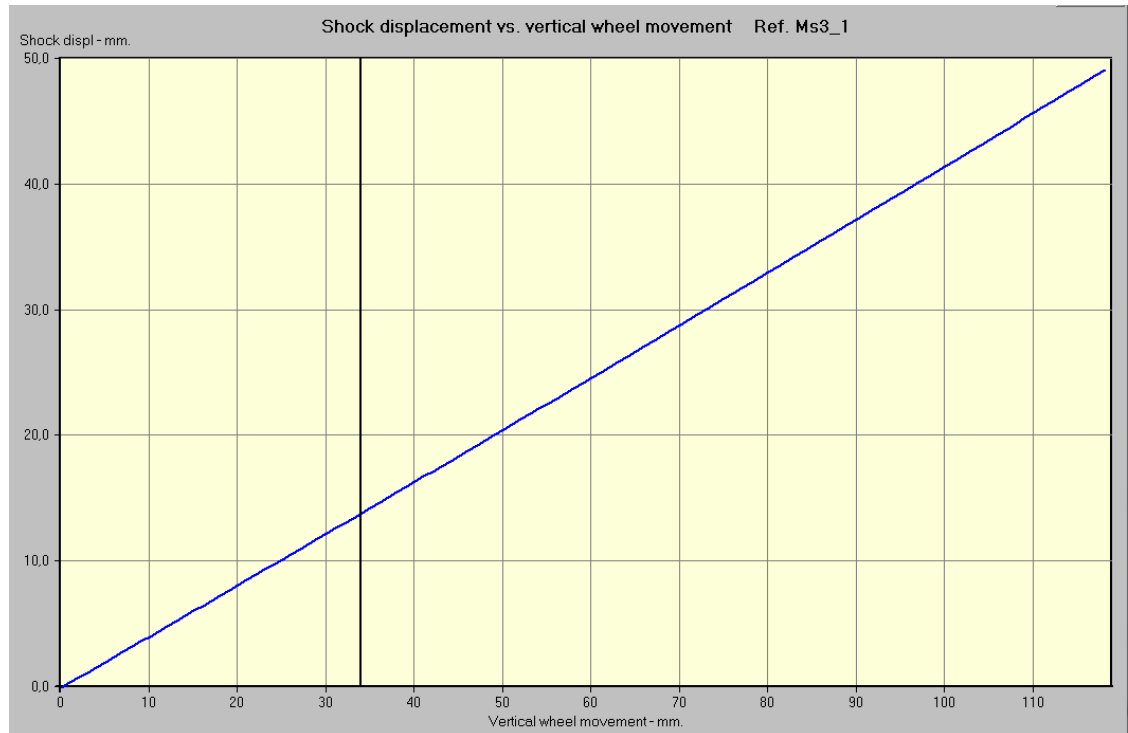


Fig.5. 29. Gráfica Desplazamiento amortiguador vs movimiento vertical rueda

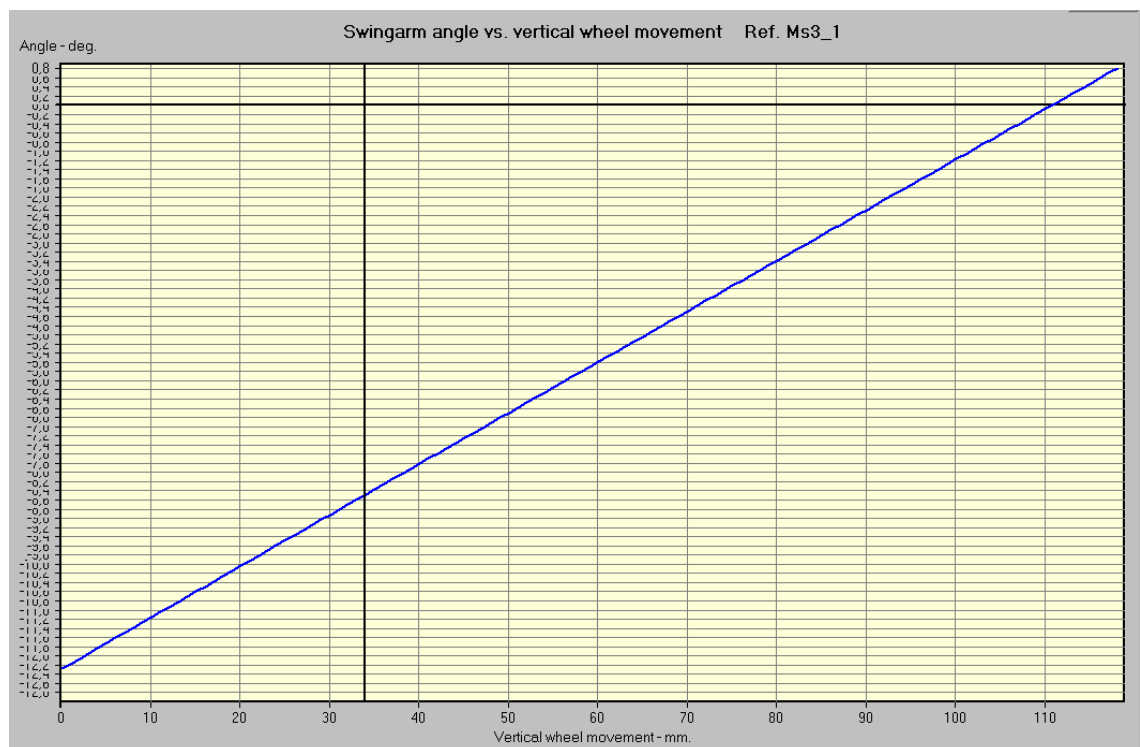


Fig.5. 30. Gráfica ángulo basculante vs movimiento vertical rueda

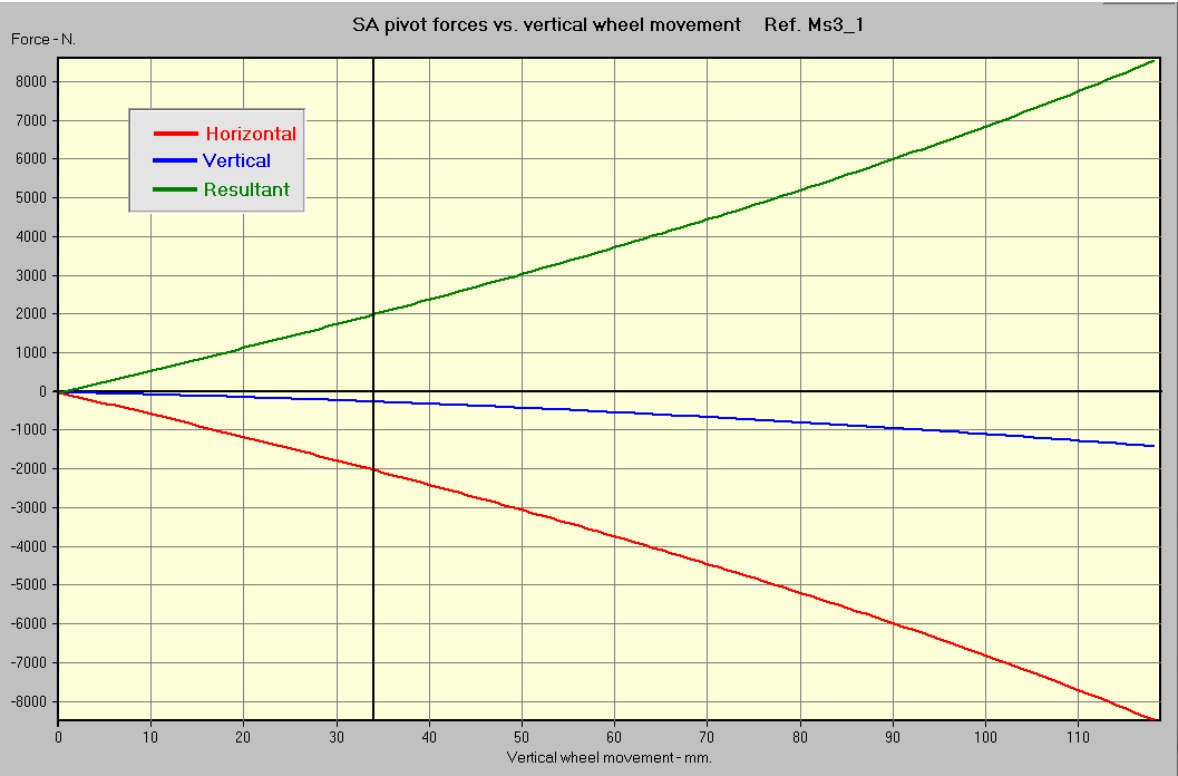


Fig.5. 31. Gráfica fuerzas en eje de pivotaje basculante vs movimiento vertical rueda

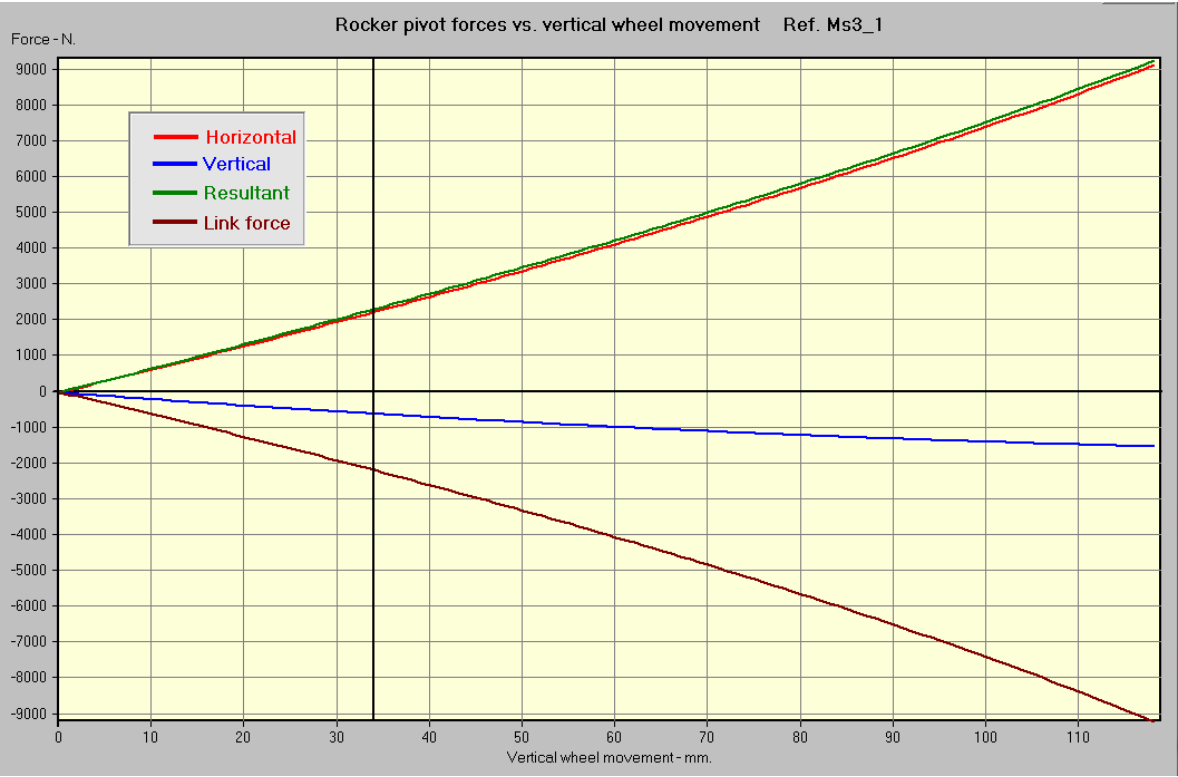


Fig.5. 32. Gráfica fuerzas en eje de pivotaje rocker vs movimiento vertical rueda

Todos estos valores en especial los de fuerzas sobre puntos de pivotaje o anclaje en los distintos puntos del sistema de suspensión, serán de gran ayuda para realizar las hipótesis de carga más desfavorables sobre el basculante y los anclajes que soportan las cargas del amortiguador, rocker y link.

A continuación se muestran los datos de forma numérica y detallada, dados por el programa, de todas las gráficas anteriormente expuestas.

Wheel disp mm.	Shock disp mm.	M.R.	Wheel rate N/mm.	Spring F newtons	Wheel F newtons	Pivot F newtons	V Pivot F newtons	H Pivot F newtons	Rocker F V newtons	Rocker F H newtons	Rocker F newtons	Link force newtons	Energy joules
0	0,0000	0,4062	17,3137	0,000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1	0,4063	0,4064	17,3353	42,659	17,3353	56,09	-4,93	-55,87	65,93	-19,81	62,88	-60,14	0,01
2	0,8127	0,4065	17,3571	85,337	34,6924	112,36	-9,99	-111,92	132,01	-39,49	125,96	-120,51	0,04
3	1,2194	0,4067	17,3785	128,032	52,0709	168,83	-15,17	-168,15	198,23	-59,03	189,24	-181,10	0,08
4	1,6261	0,4069	17,4001	170,744	69,4709	225,50	-20,49	-224,57	264,60	-78,44	252,71	-241,92	0,14
5	2,0331	0,4070	17,4220	213,475	86,8930	282,36	-25,93	-281,17	331,13	-97,71	316,38	-302,97	0,22
6	2,4402	0,4072	17,4433	256,223	104,3363	339,42	-31,50	-337,96	397,81	-116,85	380,26	-364,24	0,32
7	2,8475	0,4074	17,4647	298,989	121,8010	396,68	-37,20	-394,93	464,63	-135,86	444,33	-425,74	0,43
8	3,2550	0,4075	17,4861	341,772	139,2871	454,13	-43,02	-452,09	531,61	-154,73	508,60	-487,47	0,56
9	3,6626	0,4077	17,5080	384,573	156,7951	511,79	-48,97	-509,44	598,75	-173,47	573,06	-549,44	0,71
10	4,0704	0,4079	17,5303	427,392	174,3254	569,64	-55,05	-566,98	666,03	-192,08	637,73	-611,63	0,88
11	4,4784	0,4080	17,5505	470,228	191,8760	627,70	-61,25	-624,71	733,47	-210,56	702,60	-674,06	1,06
12	4,8865	0,4082	17,5725	513,082	209,4484	685,97	-67,58	-682,63	801,07	-228,91	767,67	-736,72	1,26
13	5,2948	0,4084	17,5950	555,954	227,0434	744,44	-74,04	-740,74	868,83	-247,13	832,94	-799,61	1,48
14	5,7033	0,4086	17,6146	598,843	244,6580	803,11	-80,62	-799,05	936,74	-265,22	898,41	-862,74	1,72
15	6,1119	0,4087	17,6378	641,749	262,2958	861,99	-87,32	-857,56	1004,81	-283,18	964,08	-926,11	1,97
16	6,5207	0,4089	17,6595	684,674	279,9553	921,09	-94,15	-916,26	1073,04	-301,01	1029,96	-989,71	2,24
17	6,9297	0,4091	17,6798	727,616	297,6351	980,39	-101,10	-975,16	1141,43	-318,71	1096,03	-1053,56	2,53
18	7,3388	0,4092	17,7037	770,576	315,3388	1039,90	-108,17	-1034,26	1209,98	-336,28	1162,31	-1117,64	2,84
19	7,7481	0,4094	17,7230	813,553	333,0619	1099,63	-115,38	-1093,56	1278,70	-353,73	1228,80	-1181,96	3,16
20	8,1576	0,4096	17,7455	856,548	350,8074	1159,58	-122,70	-1153,07	1347,58	-371,05	1295,49	-1246,53	3,50
21	8,5672	0,4097	17,7688	899,561	368,5762	1219,74	-130,14	-1212,77	1416,62	-388,24	1362,38	-1311,34	3,86
22	8,9771	0,4099	17,7875	942,591	386,3637	1280,12	-137,71	-1272,69	1485,83	-405,31	1429,48	-1376,40	4,24
23	9,3870	0,4101	17,8105	985,639	404,1742	1340,71	-145,40	-1332,81	1555,20	-422,25	1496,79	-1441,70	4,64
24	9,7972	0,4102	17,8338	1028,704	422,0080	1401,53	-153,21	-1393,14	1624,75	-439,06	1564,30	-1507,25	5,05
25	10,2075	0,4104	17,8557	1071,788	439,8637	1462,58	-161,14	-1453,67	1694,46	-455,75	1632,02	-1573,05	5,48
26	10,6180	0,4106	17,8758	1114,889	457,7395	1523,85	-169,19	-1514,42	1764,34	-472,32	1699,95	-1639,10	5,93
27	11,0286	0,4107	17,8975	1158,007	475,6370	1585,34	-177,36	-1575,39	1834,40	-488,76	1768,09	-1705,40	6,40
28	11,4395	0,4109	17,9212	1201,144	493,5583	1647,06	-185,66	-1636,56	1904,63	-505,08	1836,44	-1771,95	6,88
29	11,8505	0,4111	17,9433	1244,298	511,5015	1709,01	-194,07	-1697,96	1975,03	-521,28	1905,00	-1838,76	7,38
30	12,2616	0,4112	17,9653	1287,470	529,4668	1771,20	-202,60	-1759,57	2045,61	-537,35	1973,77	-1905,83	7,90
31	12,6729	0,4114	17,9874	1330,659	547,4542	1833,62	-211,25	-1821,41	2116,36	-553,30	2042,75	-1973,15	8,44
32	13,0844	0,4116	18,0095	1373,867	565,4637	1896,27	-220,02	-1883,46	2187,29	-569,13	2111,95	-2040,74	9,00
33	13,4961	0,4118	18,0319	1417,092	583,4956	1959,17	-228,91	-1945,75	2258,41	-584,84	2181,37	-2108,58	9,57
34	13,9080	0,4119	18,0518	1460,336	601,5474	2022,30	-237,92	-2008,25	2329,70	-600,43	2251,00	-2176,69	10,16
35	14,3200	0,4121	18,0763	1503,596	619,6237	2085,67	-247,04	-2070,99	2401,17	-615,89	2320,84	-2245,07	10,77
36	14,7321	0,4123	18,1012	1546,875	637,7249	2149,29	-256,28	-2133,95	2472,83	-631,24	2390,91	-2313,71	11,40
37	15,1445	0,4124	18,1214	1590,172	655,8463	2213,15	-265,65	-2197,15	2544,68	-646,47	2461,19	-2382,62	12,05
38	15,5570	0,4126	18,1465	1633,487	673,9927	2277,27	-275,12	-2260,59	2616,71	-661,58	2531,70	-2451,80	12,71
39	15,9697	0,4128	18,1669	1676,820	692,1596	2341,63	-284,72	-2324,26	2688,93	-676,57	2602,42	-2521,26	13,39
40	16,3826	0,4130	18,1894	1720,171	710,3490	2406,24	-294,42	-2388,17	2761,34	-691,44	2673,37	-2590,98	14,09
41	16,7956	0,4131	18,2153	1763,540	728,5643	2471,12	-304,25	-2452,32	2833,95	-706,20	2744,55	-2660,99	14,81
42	17,2088	0,4133	18,2326	1806,928	746,7969	2536,25	-314,19	-2516,71	2906,74	-720,84	2815,95	-2731,27	15,55

Wheel disp mm.	Shock disp mm.	M.R.	Wheel rate N/mm.	Spring F newtons	Wheel F newtons	Pivot F newtons	V Pivot F newtons	H Pivot F newtons	Rocker F V newtons	Rocker F H newtons	Rocker F newtons	Link force newtons	Energy joules
43	17,6222	0,4135	18,2613	1850,333	765,0582	2601,63	-324,24	-2581,35	2979,74	-735,36	2887,57	-2801,84	16,31
44	18,0358	0,4136	18,2849	1893,756	783,3431	2667,29	-334,41	-2646,24	3052,93	-749,76	2959,43	-2872,69	17,08
45	18,4495	0,4138	18,3051	1937,198	801,6482	2733,20	-344,70	-2711,38	3126,32	-764,05	3031,52	-2943,82	17,87
46	18,8634	0,4140	18,3318	1980,658	819,9800	2799,39	-355,09	-2776,78	3199,91	-778,22	3103,83	-3015,24	18,68
47	19,2775	0,4142	18,3539	2024,137	838,3340	2865,85	-365,61	-2842,43	3273,70	-792,28	3176,39	-3086,96	19,51
48	19,6917	0,4143	18,3777	2067,634	856,7117	2932,57	-376,23	-2908,34	3347,70	-806,22	3249,17	-3158,96	20,36
49	20,1062	0,4145	18,4017	2111,149	875,1135	2999,58	-386,97	-2974,51	3421,91	-820,05	3322,20	-3231,26	21,23
50	20,5208	0,4147	18,4258	2154,683	893,5392	3066,86	-397,82	-3040,95	3496,33	-833,77	3395,46	-3303,86	22,11
51	20,9356	0,4149	18,4501	2198,235	911,9893	3134,43	-408,79	-3107,66	3570,95	-847,37	3468,96	-3376,76	23,01
52	21,3505	0,4151	18,4763	2241,806	930,4656	3202,28	-419,86	-3174,64	3645,80	-860,86	3542,70	-3449,96	23,93
53	21,7657	0,4152	18,5010	2285,396	948,9666	3270,42	-431,05	-3241,89	3720,85	-874,23	3616,69	-3523,47	24,87
54	22,1810	0,4154	18,5239	2329,005	967,4904	3338,85	-442,35	-3309,42	3796,13	-887,50	3690,93	-3597,29	25,83
55	22,5965	0,4156	18,5488	2372,632	986,0392	3407,58	-453,76	-3377,23	3871,63	-900,65	3765,41	-3671,42	26,81
56	23,0122	0,4158	18,5740	2416,278	1004,6133	3476,60	-465,29	-3445,33	3947,35	-913,69	3840,15	-3745,87	27,81
57	23,4280	0,4159	18,5994	2459,944	1023,2126	3545,93	-476,92	-3513,71	4023,30	-926,62	3915,14	-3820,63	28,82
58	23,8441	0,4161	18,6270	2503,628	1041,8396	3615,56	-488,66	-3582,38	4099,47	-939,43	3990,38	-3895,71	29,85
59	24,2603	0,4163	18,6527	2547,331	1060,4923	3685,49	-500,51	-3651,35	4175,88	-952,14	4065,88	-3971,12	30,90
60	24,6767	0,4165	18,6768	2591,054	1079,1691	3755,74	-512,47	-3720,61	4252,52	-964,74	4141,64	-4046,86	31,97
61	25,0933	0,4167	18,7030	2634,796	1097,8721	3826,31	-524,54	-3790,18	4329,39	-977,23	4217,66	-4122,92	33,06
62	25,5101	0,4169	18,7317	2678,557	1116,6038	3897,19	-536,72	-3860,06	4406,51	-989,61	4293,95	-4199,33	34,17
63	25,9270	0,4171	18,7563	2722,338	1135,3601	3968,40	-549,01	-3930,24	4483,87	-1001,88	4370,51	-4276,07	35,30
64	26,3442	0,4172	18,7832	2766,138	1154,1433	4039,94	-561,41	-4000,74	4561,47	-1014,04	4447,33	-4353,15	36,44
65	26,7615	0,4174	18,8126	2809,958	1172,9559	4111,80	-573,91	-4071,55	4639,33	-1026,09	4524,43	-4430,58	37,60
66	27,1790	0,4176	18,8380	2853,798	1191,7939	4184,01	-586,53	-4142,69	4717,43	-1038,04	4601,81	-4508,36	38,78
67	27,5967	0,4178	18,8658	2897,658	1210,6598	4256,55	-599,25	-4214,16	4795,79	-1049,87	4679,46	-4586,49	39,98
68	28,0146	0,4180	18,8965	2941,538	1229,5563	4329,44	-612,07	-4285,96	4874,41	-1061,60	4757,40	-4664,98	41,20
69	28,4327	0,4182	18,9225	2985,438	1248,4788	4402,68	-625,01	-4358,09	4953,29	-1073,23	4835,63	-4743,83	42,44
70	28,8510	0,4184	18,9513	3029,357	1267,4301	4476,27	-638,04	-4430,56	5032,44	-1084,75	4914,14	-4823,05	43,70
71	29,2695	0,4186	18,9829	3073,298	1286,4130	4550,22	-651,19	-4503,38	5111,86	-1096,16	4992,95	-4902,64	44,98
72	29,6882	0,4188	19,0074	3117,259	1305,4204	4624,53	-664,44	-4576,55	5191,55	-1107,46	5072,05	-4982,61	46,28
73	30,1070	0,4190	19,0397	3161,240	1324,4601	4699,22	-677,79	-4650,08	5271,52	-1118,66	5151,46	-5062,95	47,59
74	30,5261	0,4192	19,0725	3205,242	1343,5326	4774,27	-691,25	-4723,97	5351,77	-1129,75	5231,16	-5143,69	48,92
75	30,9454	0,4194	19,1007	3249,265	1362,6333	4849,71	-704,82	-4798,22	5432,30	-1140,74	5311,18	-5224,81	50,27
76	31,3648	0,4196	19,1289	3293,309	1381,7622	4925,53	-718,49	-4872,85	5513,13	-1151,63	5391,50	-5306,33	51,64
77	31,7845	0,4198	19,1630	3337,374	1400,9252	5001,74	-732,26	-4947,85	5594,25	-1162,40	5472,15	-5388,24	53,03
78	32,2044	0,4200	19,1964	3381,460	1420,1216	5078,35	-746,14	-5023,24	5675,66	-1173,08	5553,11	-5470,57	54,44
79	32,6245	0,4202	19,2258	3425,568	1439,3474	5155,36	-760,12	-5099,02	5757,39	-1183,65	5634,40	-5553,31	55,87
80	33,0447	0,4204	19,2587	3469,698	1458,6061	5232,79	-774,21	-5175,19	5839,42	-1194,11	5716,02	-5636,46	57,32
81	33,4652	0,4206	19,2935	3513,849	1477,8995	5310,62	-788,39	-5251,77	5921,76	-1204,48	5797,97	-5720,04	58,79
82	33,8859	0,4208	19,3258	3558,022	1497,2253	5388,88	-802,69	-5328,76	6004,42	-1214,73	5880,27	-5804,05	60,28
83	34,3068	0,4210	19,3604	3602,218	1516,5857	5467,56	-817,08	-5406,17	6087,41	-1224,89	5962,90	-5888,50	61,79
84	34,7280	0,4212	19,3951	3646,435	1535,9808	5546,69	-831,57	-5484,00	6170,73	-1234,94	6045,89	-5973,39	63,32
85	35,1493	0,4214	19,4305	3690,676	1555,4114	5626,25	-846,16	-5562,25	6254,38	-1244,89	6129,23	-6058,73	64,87
Wheel disp mm.	Shock disp mm.	M.R.	Wheel rate N/mm.	Spring F newtons	Wheel F newtons	Pivot F newtons	V Pivot F newtons	H Pivot F newtons	Rocker F V newtons	Rocker F H newtons	Rocker F newtons	Link force newtons	Energy joules
86	35,5708	0,4217	19,4668	3734,938	1574,8782	5706,26	-860,86	-5640,95	6338,37	-1254,73	6212,94	-6144,52	66,43
87	35,9926	0,4219	19,5020	3779,224	1594,3801	5786,73	-875,66	-5720,10	6422,71	-1264,47	6297,01	-6230,78	68,01
88	36,4146	0,4221	19,5408	3823,533	1613,9209	5867,67	-890,56	-5799,69	6507,41	-1274,11	6381,46	-6317,52	69,61
89	36,8368	0,4223	19,5773	3867,866	1633,4982	5949,08	-905,56	-5879,75	6592,46	-1283,65	6466,28	-6404,73	71,23
90	37,2593	0,4226	19,6161	3912,222	1653,1143	6030,97	-920,66	-5960,29	6677,88	-1293,08	6551,49	-6492,43	72,87
91	37,6819	0,4228	19,6541	3956,602	1672,7683	6113,35	-935,86	-6041,30	6763,68	-1302,41	6637,10	-6580,62	74,53
92	38,1048	0,4230	19,6958	4001,005	1692,4641	6196,24	-951,15	-6122,80	6849,86	-1311,63	6723,11	-6669,32	76,21
93	38,5279	0,4232	19,7385	4045,434	1712,2026	6279,63	-966,55	-6204,80	6936,42	-1320,75	6809,52	-6758,53	77,91
94	38,9513	0,4235	19,7770	4089,886	1731,9796	6363,54	-982,05	-6287,30	7023,38	-1329,77	6896,35	-6848,27	79,63
95	39,3749	0,4237	19,8199	4134,364	1751,7996	6447,97	-997,64	-6370,33	7110,75	-1338,69	6983,60	-6938,53	81,37
96	39,7987	0,4240	19,8641	4178,867	1771,6637	6532,95	-1013,34	-6453,88	7198,53	-1347,50	7071,28	-7029,34	83,13
97	40,2228	0,4242	19,9081	4223,395	1791,5718	6618,47	-1029,13	-6537,97	7286,73	-1356,21	7159,41	-7120,70	84,91
98	40,6471	0,4244	19,9539	4267,949	1811,5256	6704,55	-1045,02	-6622,61	7375,36	-1364,81	7247,98	-7212,62	86,71
99	41,0717	0,4247	19,9995	4312,529	1831,5251	6791,21	-1061,01	-6707,81	7464,43	-1373,31	7337,01	-7305,11	88,53
100	41,4965	0,4250	20,0464	4357,136	1851,5715	6878,44	-1077,09	-6793,59	7553,95	-1381,70	7426,51	-7398,19	90,37
101	41,9216	0,4252	20,0957	4401,769	1871,6672	6966,27	-1093,27	-6879,95	7643,93	-1389,99	7516,49	-7491,86	92,23
102	42,3469	0,4255	20,1461	4446,430	1891,8134	7054,71	-1109,55	-6966,91	7734,38	-1398,17	7606,95	-7586,14	94,11
103	42,7725	0,4257	20,1960	4491,118	1912,0094	7143,77	-1125,93	-7054,48	7825,31	-1406,25	7697,92	-7681,04	96,01
104	43,1984	0,4260	20,2484	4535,833	1932,2578	7233,46	-1142,40	-7142,67	7916,73	-1414,22	7789,39	-7776,57	97,93
105	43,6245	0,4263	20,3021	4580,577	1952,5599	7323,79	-1158,97	-7231,51	8008,66	-1422,08	7881,39	-7872,75	99,87
106	44,0510	0,4265	20,3564	4625,350	1972,9164	7414,79	-1175,64	-7321,00	8101,10	-1429,84	7973,92	-7969,60	101,83
107	44,4776	0,4268	20,4135	4670,151	1993,3298	7506,47	-1192,40	-7411,16	8194,07	-1437,48	8066,99	-8067,11	103,81
108	44,9046	0,4271	20,4717	4714,983	2013,8015	7598,84	-1209,26	-7502,00	8287,58	-1445,02	8160,63	-8165,32	105,81
109	45,3318	0,4274	20,5305	4759,844	2034,3320	7691,91	-1226,21	-7593,55	8381,64	-1452,45	8254,84	-8264,24	107,83
110	45,7594	0,4277	20,5923	4804,736	2054,9243	7785,72	-1243,26	-7685,81	8476,28	-1459,76	8349,64	-8363,87	109,87
111	46,1872	0,4280	20,6550	4849,658	2075,5793	7880,26	-1260,41	-7778,81	8571,50	-1466,97	8445,04	-8464,25	111,94
112	46,6154	0,4283	20,7200	4894,612	2096,2993	7975,57	-1277,65	-7872,57	8667,32	-1474,05	8541,06	-8565,39	114,03
113	47,0438	0,4286	20,7871	4939,599	2117,0864	8071,66	-1294,98	-7967,10	8763,76	-1481,03	8637,71	-8667,30	

6. ESTUDIO DE ESFUERZOS SOBRE LA MOTOCICLETA

En este apartado se muestran las principales fuerzas a las que es sometida la motocicleta en las distintas situaciones de máximo esfuerzo que se pueden plantear durante su uso, así como la explicación de cada una de ellas. La buena obtención de estos datos es un aspecto decisivo en el desarrollo del proyecto, ya que posteriormente serán introducidos en el programa de análisis por elementos finitos, el cual marcará el camino a seguir para la optimización del diseño.

Se tratarán dichas situaciones de forma independiente, explicando y mostrando gráficos e imágenes que aclaren las fuerzas que actúan sobre el sistema. Se dividirán en esfuerzos sobre el basculante, esfuerzos sobre el rocker y esfuerzos sobre el link. Las situaciones escogidas para cada caso, son situaciones más desfavorables posibles.

Para comenzar el estudio es necesario establecer previamente una serie de parámetros en cuanto a peso y geometría:

El peso total se considerará de 165 kg, con piloto, gasolina y aceite incluidos, el coeficiente de rozamiento entre suelo y neumático de 1.2 con pista seca. La distancia entre ejes 1305 mm, pudiendo variar gracias a los tensores del basculante. El reparto de pesos se ha ajustado hasta alcanzar un 50/50, altura del centro de gravedad de la motocicleta 600 mm y un lanzamiento de 23° .

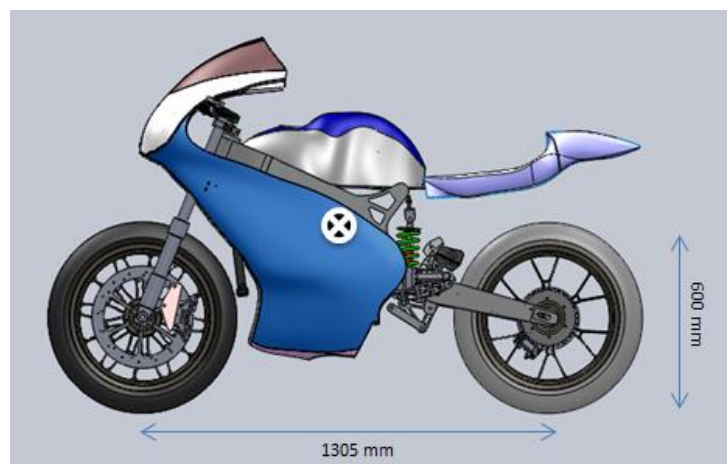


Fig.6. 1. Distancia entre ejes y centro de gravedad

Sin embargo, el centro de gravedad no estará fijo debido entre otras cosas al movimiento del piloto en las curvas o al descenso de la gasolina durante la carrera, disminuyendo por tanto el peso total de la motocicleta. Esto deberá tenerse siempre presente durante el estudio para que los datos obtenidos se correspondan lo máximo posible con la realidad.

6.1. Fuerzas actuantes sobre el basculante

6.1.1. Compresión máxima suspensión

Es la situación que más tensiones van a soportar el basculante. Esta situación se produce cuando la reacción vertical sobre el neumático trasero es muy elevada y llega a comprimir por completo el amortiguador trasero. Las cargas necesarias para comprimir completamente el amortiguador trasero dependen tanto de la rigidez de este como de su disposición dentro de la motocicleta.

En el proceso de desarrollo de la suspensión se ha obtenido un valor de fuerza a compresión máxima de la suspensión, tanto de la rueda trasera como del rocker. Estas fuerzas se han obtenido a través del programa "Motorcycle kinematics", donde se ha obtenido la siguiente gráfica:

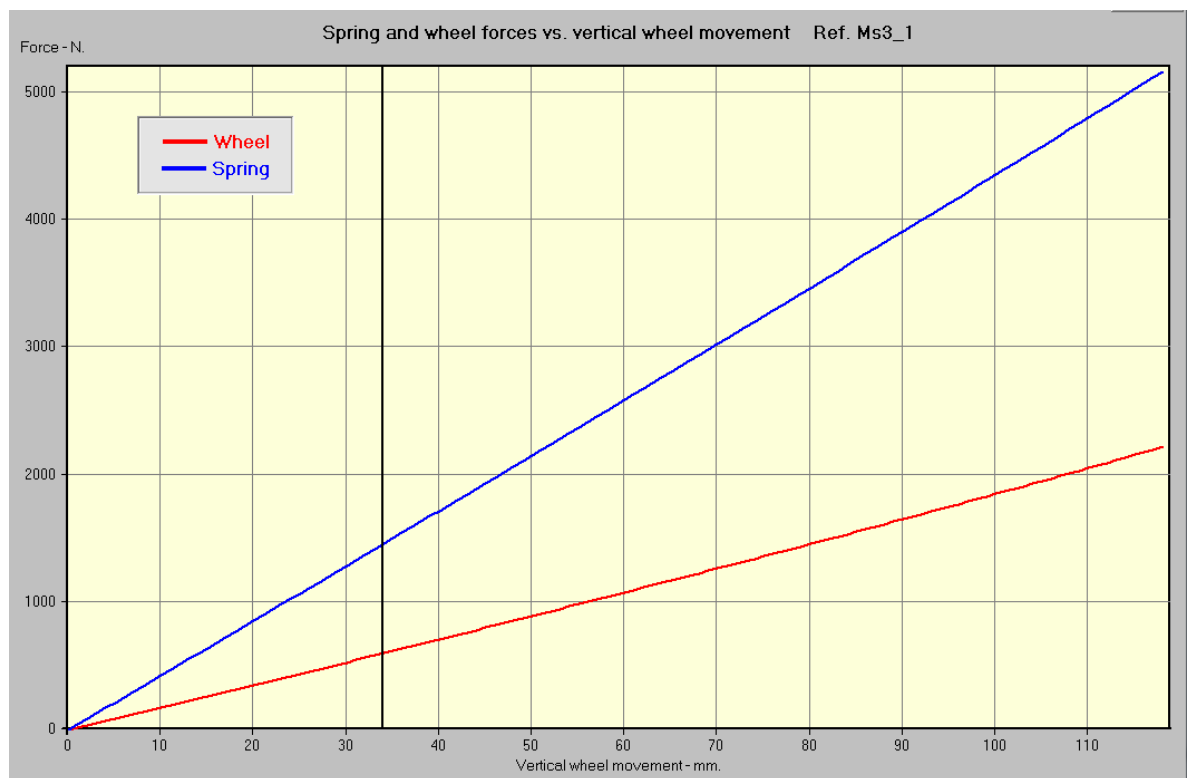


Fig.6. 2. Gráfica Fuerzas muelle y rueda vs movimiento vertical rueda

El valor máximo de carga en la rueda y por tanto, en el eje de la misma en el basculante, es de 2221N.

La fuerza que realiza el link sobre el basculante también influye en esta hipótesis de carga, obteniendo del estudio de suspensiones la siguiente gráfica:

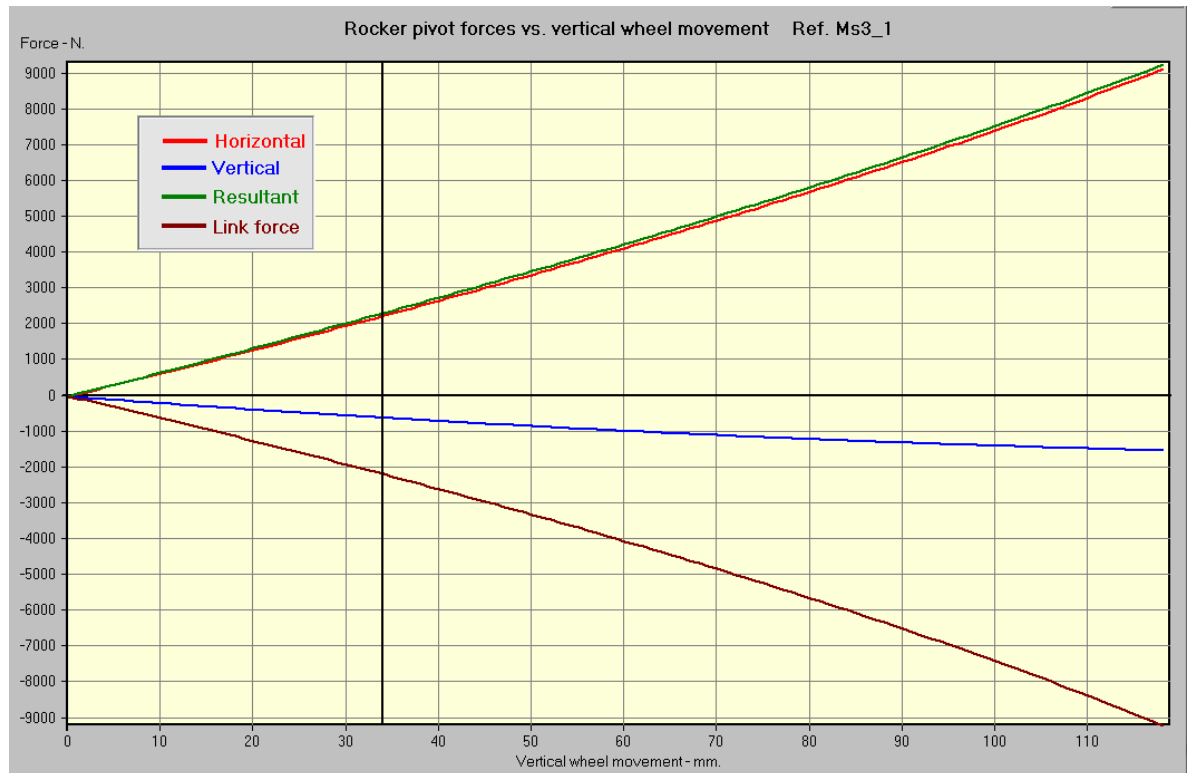


Fig.6. 3. Gráfica fuerzas en eje de pivotaaje rocker vs movimiento vertical rueda

La fuerza a compresión máxima que ejerce el link sobre el basculante es de -9185 N.

6.1.2.Frenada máxima con rueda trasera

En este apartado se tratan las fuerzas resultantes que aparecerían si se produjese una frenada máxima solo con la rueda trasera. Esta situación tan solo suele darse durante pequeños instantes de tiempo, al inicio de la frenada, justo antes de accionar el freno delantero.

En el análisis por elementos finitos interesará particularmente la obtención de las fuerzas de este apartado para dimensionar el basculante en una hipotética fuerza de tracción máxima.

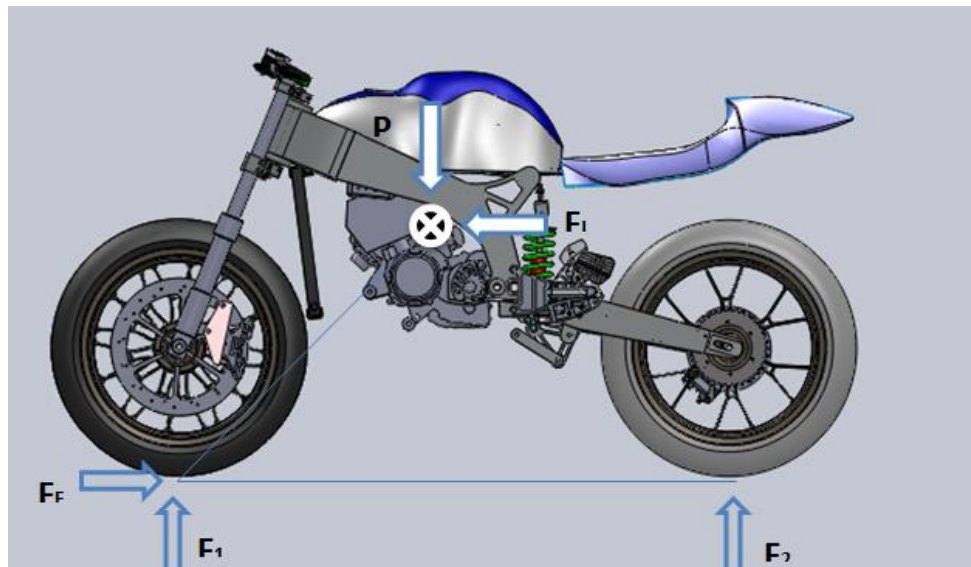


Fig.6. 4. Fuerzas actuantes en frenada máxima con rueda trasera

En este caso existe normal en las dos ruedas en todo momento. Lo que realmente interesa saber es como se distribuye el peso de la moto a través de las normales de las ruedas. Se podría considerar que en el instante de accionar el freno trasero, al estar la moto en equilibrio, la normal sería equivalente al 50% del peso total de la moto ya que la posición horizontal del CDG se encuentra a la mitad de la distancia entre ejes. No obstante, en el tiempo de reacción en que las pinzas de freno empiezan a actuar al 100% de su capacidad, la transferencia de pesos hacia la rueda delantera ya ha empezado a producirse, por tanto, se debe aplicar un coeficiente a la reacción del instante teórico en que la normal equivaldría a la mitad del peso. Dadas las circunstancias, y en base a la experiencia de algunos diseñadores, es razonable aplicar un coeficiente de 0.7 a la cifra teórica máxima:

$$P = 165 \times 9.81 = 1618.65 \text{ N}$$

$$F_2 = P/2$$

$$F_f = F_2 \times \mu \times 0.7$$

$$F_f = P/2 \times \mu \times 0.7 = (1618.65/2) \times 1.2 \times 0.7 = 679.83 \text{ N}$$

La fuerza resultante (F_3) a aplicar sobre el eje trasero del basculante, después de realizar los cálculos pertinentes descritos en el ["Anexo 2. Estudio de esfuerzos sobre la motocicleta"](#), es de 2233.66 N.

6.1.3. Paso por curva

Por último se realizará un estudio para determinar el valor de las fuerzas que actúan sobre la motocicleta cuando ésta se encuentra en el punto de inclinación máxima. Para ello se considera la situación de máxima velocidad de paso por curva, en la cual no existirán ni fuerzas de aceleración ni fuerzas de frenada, por lo que todas las fuerzas irán destinadas a vencer a la fuerza centrífuga.

El vector resultante de la suma vectorial de F_1 y N estará alineado con el vector resultante de la suma vectorial de P y F_c , tanto en la rueda trasera como en la rueda delantera. El punto de aplicación de fuerza entre los neumáticos y el asfalto se verá desplazado hacia la derecha respecto al plano de simetría vertical de la moto debido a la inclinación. Este efecto es compensado por el piloto, que durante el paso por curva mantiene una posición “descolgado” hacia el interior de la curva, moviendo así el centro de gravedad también hacia la derecha y provocando un esfuerzo de torsión.

Teniendo en cuenta todo esto, una vez realizados los cálculos obtenemos los siguientes datos:

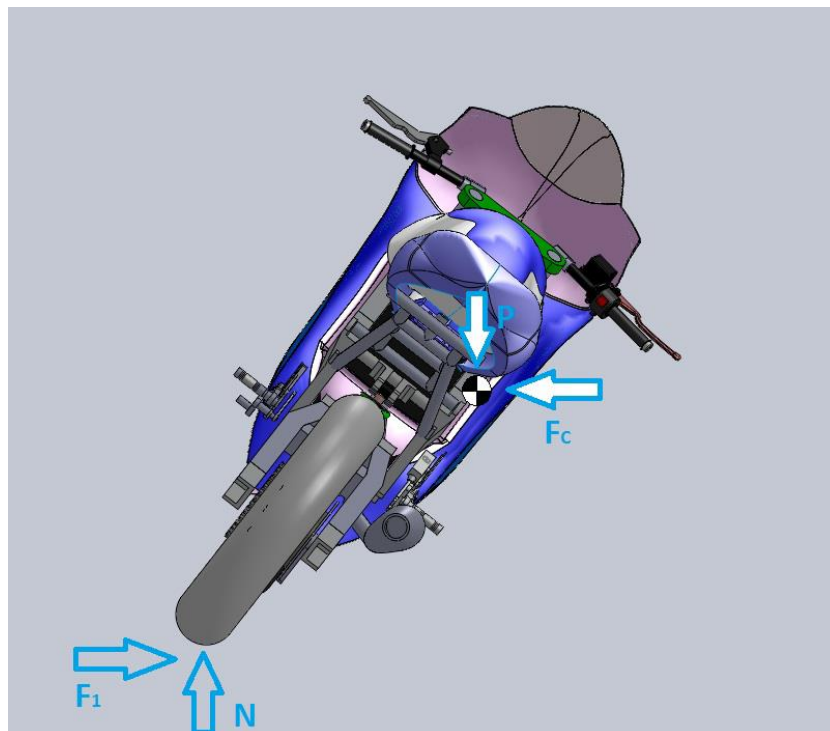


Fig.6. 5. Fuerzas actuantes en paso por curva

$$N = P$$

$$N = 1618.65 \text{ N}$$

$$F_1 = N \times 9.81 \times 1.2$$

$$F_1 = 1942.38 \text{ N}$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{P}{F_1}\right)$$

$$\alpha = 39.8^\circ$$

A partir de estos datos se obtiene las reacciones R_i y R_d , calculadas en el ["Anexo 2. Estudio de esfuerzos sobre la motocicleta"](#), las cuales se aplican sobre los anclajes del eje trasero del basculante, obteniendo unos valores:

$$R_i = 797.1 \text{ N}$$

$$R_d = 1659.05 \text{ N}$$

6.2. Fuerzas actuantes sobre el sistema de suspensión

A continuación se estudiarán las fuerzas aplicadas sobre el rocker (balancín) y link. Las fuerzas se obtienen mediante el programa Motorcycle kinematics, usado para el estudio del comportamiento del sistema de suspensión en el [Capítulo 5.7." Estudio sistema de suspensión"](#), con el cual se obtienen unas fuerzas máximas aplicadas sobre los distintos puntos de pivotamiento del rocker y link. Donde se obtiene la siguiente gráfica:

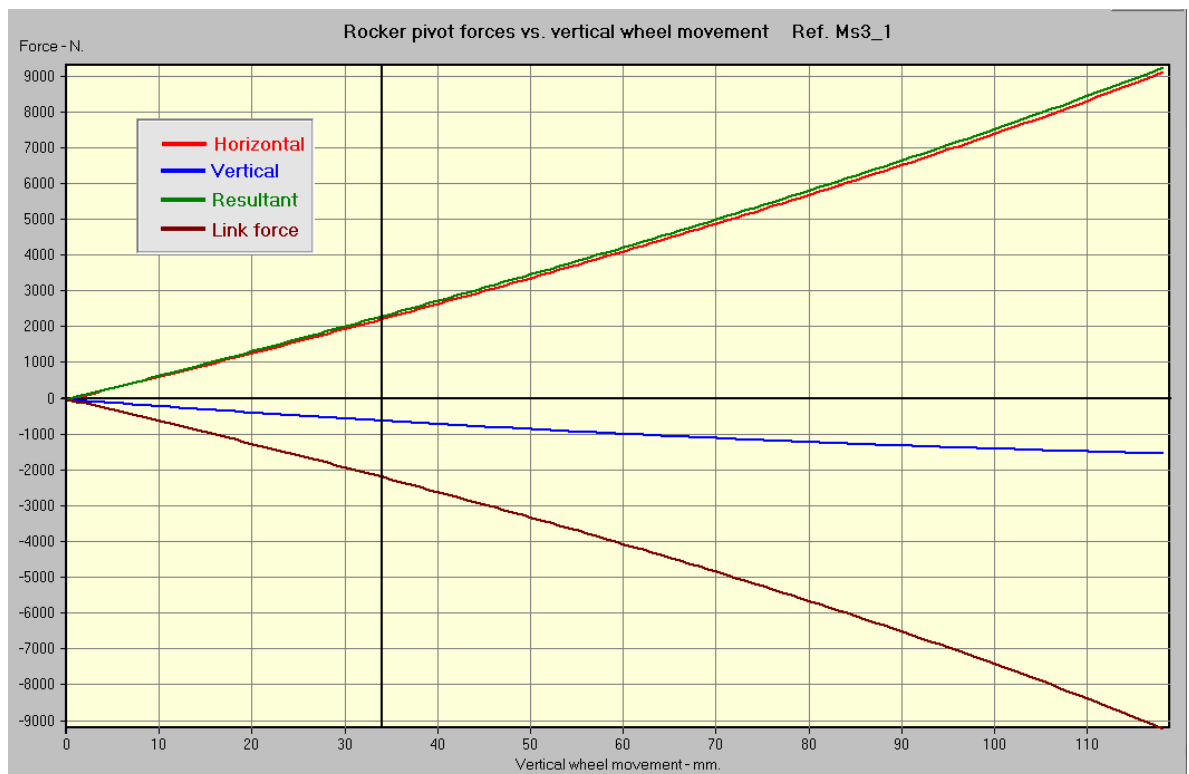


Fig.6. 6. Gráfica de fuerzas actuantes sobre rocker y link

6.2.1. Fuerzas actuantes sobre el rocker a compresión máxima

Las fuerzas aplicadas sobre el rocker son:

- Sobre Link: 9189 N, ángulo 45°
- Sobre rocker:
 - Horizontal: 9255 N
 - Vertical: 1514 N

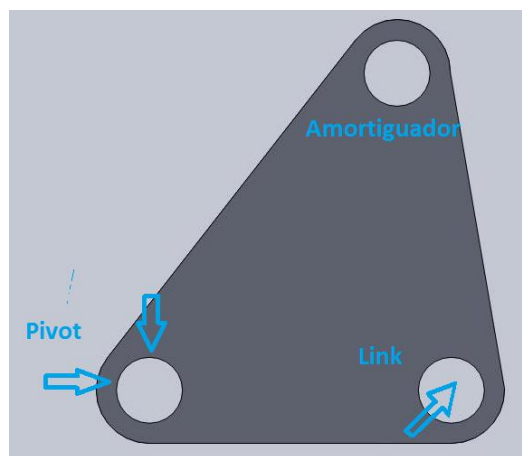


Fig.6. 7. Fuerzas actuantes sobre rocker

6.2.2. Fuerzas actuantes sobre link a compresión máxima

La fuerza se aplica sobre el punto de pivotamiento “Rocker-link”, siendo el valor de la fuerza - 9255 N.

El sistema de suspensión está compuesto de dos link, uno por cada lado del rocker, por consiguiente la fuerza actuante sobre cada link se dividirá entre 2, quedando esta con un valor de -4627.5 N.

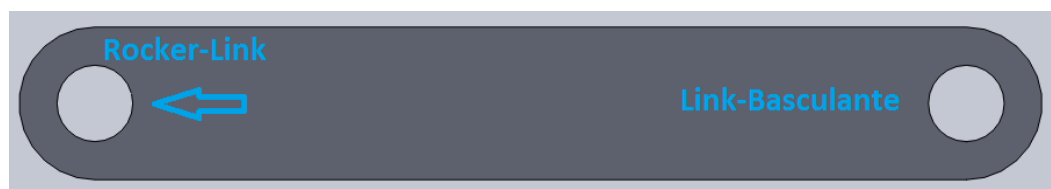


Fig.6. 8. Fuerzas actuantes sobre link

7. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS

Según las características descritas en el [Capítulo 4.3 “Estudio para elección del tipo de basculante”](#) y las hipótesis de carga calculadas en el [Anexo2. “Estudio de esfuerzos sobre la motocicleta”](#), se procede a diseñar y optimizar el basculante y el sistema de bieletas del sistema de suspensión.

Los análisis que marcarán el camino de la optimización se realizarán mediante el módulo de MEF del programa de diseño 3D SolidWorks, denominado SolidWorks Simulation. Para su estudio se introducirán las hipótesis de carga anteriormente mencionadas, obteniendo las tensiones que soportara el basculante y coeficiente de seguridad del mismo, observando que dichas tensiones no sobrepasen el límite elástico del material y su coeficiente de seguridad sea superior a 2 ($CS > 2$).

7.1. Diseño basculante

Para comenzar el estudio de elementos finitos primeramente se debe tener en cuenta las funciones principales que tiene un basculante: de carácter estático y de carácter dinámico. Desde el punto de vista estático el basculante se somete a una serie de cargas aplicadas en diferentes puntos del mismo, como son, fuerzas del amortiguador, el motor, el sistema de transmisión, frenos, peso completo de la motocicleta.

Desde el punto de vista dinámico, el conjunto chasis-basculante además de la horquilla y las ruedas, son los encargados de proporcionar el buen comportamiento del conjunto, es decir, buena manejabilidad, estabilidad y adherencia. Todos estos aspectos hacen que la motocicleta tenga un comportamiento adecuado en carretera, donde el basculante debe ser capaz de proporcionar una buena resistencia a la flexión y a la torsión.

Los parámetros geométricos, se han determinado en un acuerdo común entre las partes en las que está dividido el proyecto general de la motocicleta.

- Distancia entre ejes: 1305 mm
- Longitud basculante: 500-530 mm
- Ángulo de lanzamiento: 22°

Aparte de las geometrías generales de la motocicleta se tienen que determinar la posición de los distintos anclajes del sistema de suspensión, estudiados en el [Capítulo 5.7 “Estudio del sistema de suspensión”](#), como son la posición del anclaje del amortiguador, posición del anclaje del rocker o

balancín y posición del anclaje del link en el basculante, con el fin de obtener los esfuerzos realizados sobre estos puntos para su estudio.

7.1.1.Diseño inicial

Como se ha mencionado anteriormente se parte de una serie de geometrías definidas y estudiadas anteriormente.

BASCULANTE	CARACTERISTICAS
Tipo basculante	Doble brazo
Material	Aluminio 6082-T6
Fabricación	Mecanizado CNC
Unión	Atornillada
Longitud	500-530 mm

Tabla 14. Características generales basculante diseño inicial

Para comenzar se analizará el diseño inicial según las características anteriores a partir de las cuales se efectuarán los cambios pertinentes para su optimización.

El basculante consta de dos brazos de aluminio 6082-T6 mecanizados con mallado interior en forma romboidal fabricados mediante CNC, unidos mediante una traviesa de estructura en U, con un encastrado en ambos brazos para aumentar la rigidez de la unión, también fabricado mediante CNC, la unión de los brazos con la traviesa se realiza mediante 4 tornillos de métrica 8 de acero inoxidable por ambos lados. El anclaje del sistema de suspensión va encastrado y unido mediante tornillería de métrica 10 de acero inoxidable.

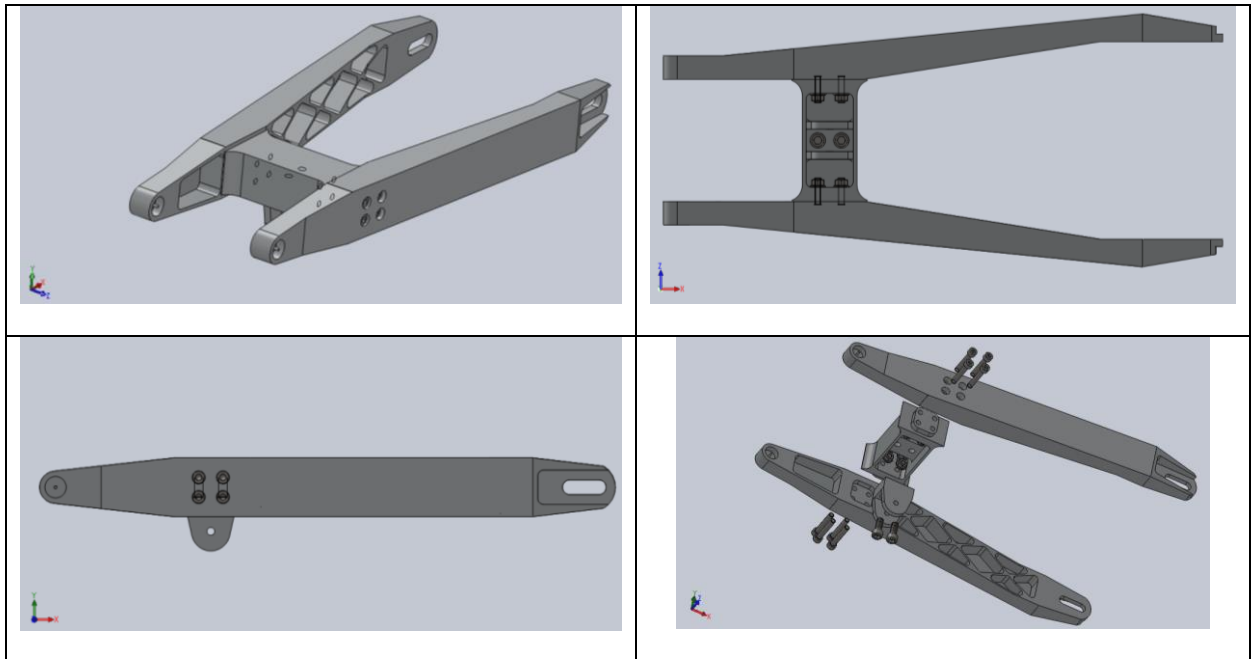


Fig.7. 1. Diseño preliminar

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo de elementos finitos, mediante SolidWorks Simulation, en las distintas hipótesis de carga estudiadas en el [“Anexo 2. Esfuerzos sobre la motocicleta”](#).

- MALLADO

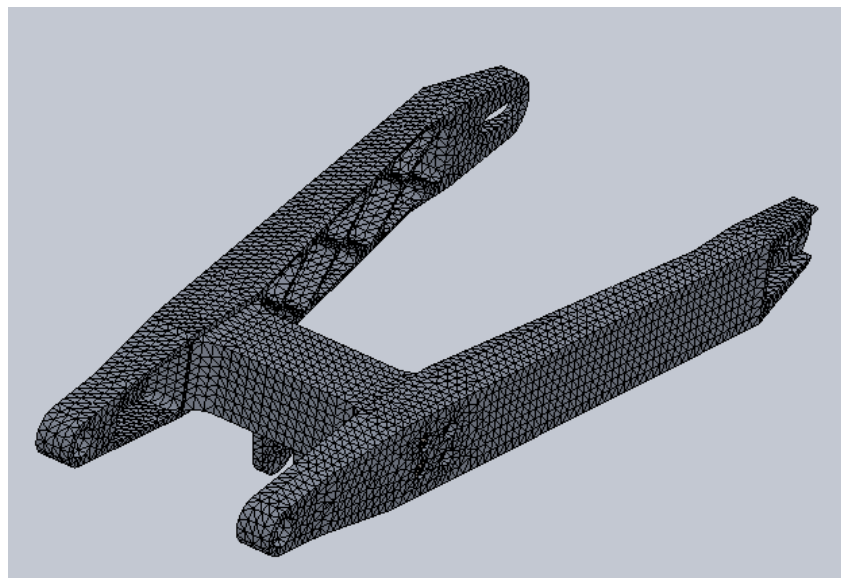


Fig.7. 2. Mallado Diseño Inicial

- TENSIONES
 - Compresión máxima

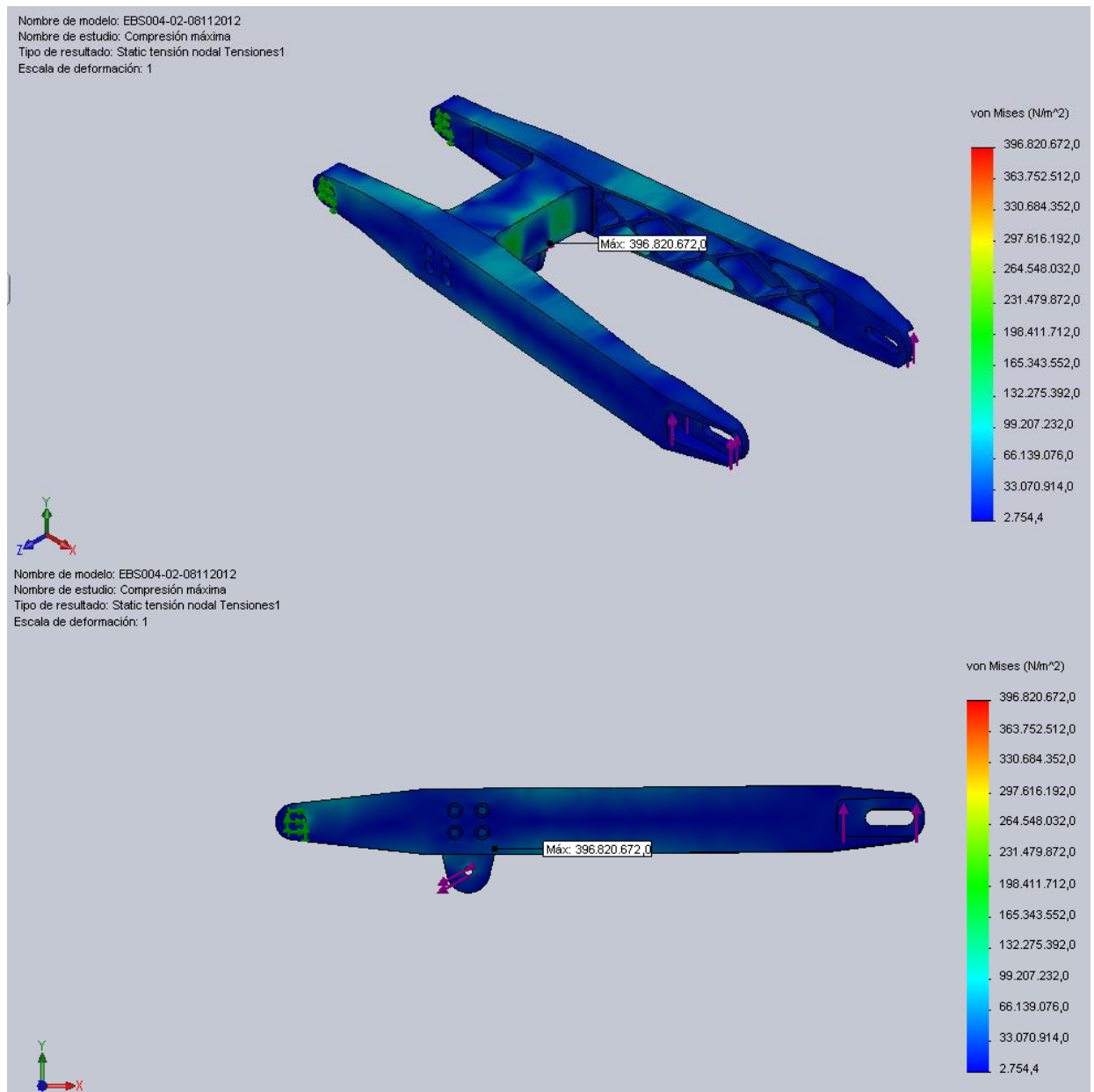


Fig.7. 3. Análisis de tensiones a compresión máxima diseño inicial

○ Paso por curva

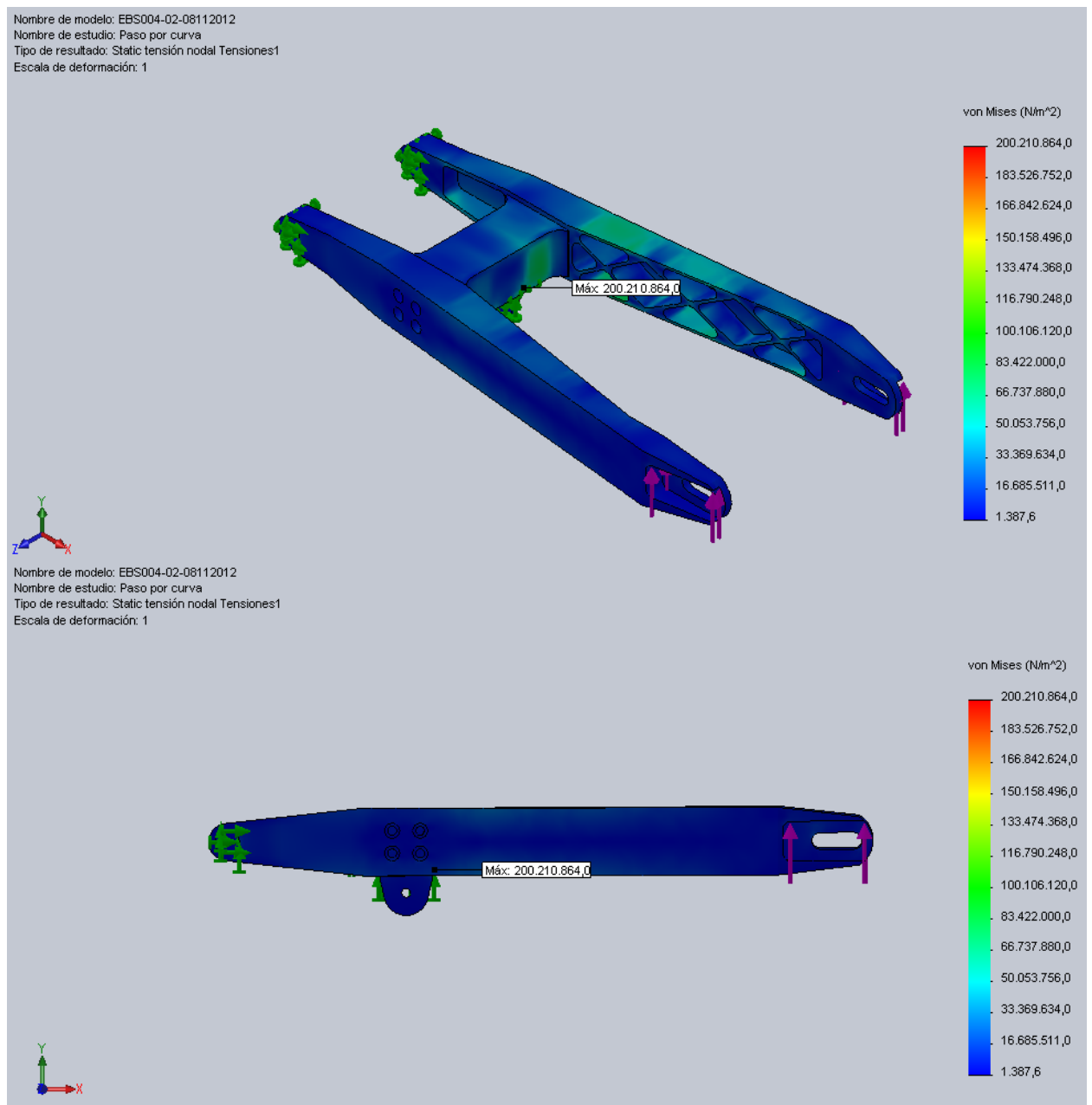


Fig.7. 4. Análisis de tensiones en paso por curva diseño inicial

○ Frenada máxima

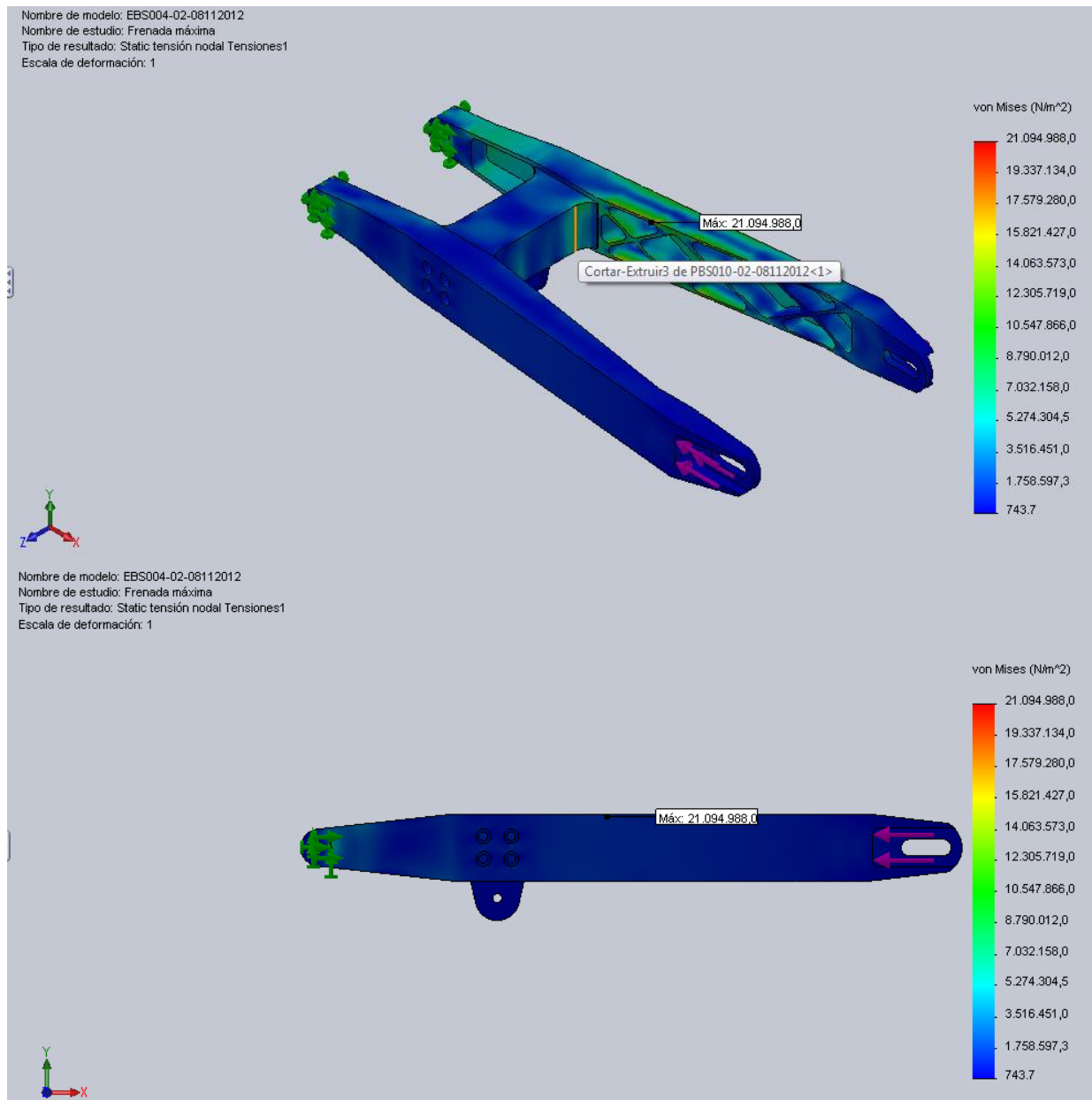


Fig.7. 5. Análisis de tensiones en frenada máxima diseño inicial

- COEFICIENTE DE SEGURIDAD
 - Compresión máxima

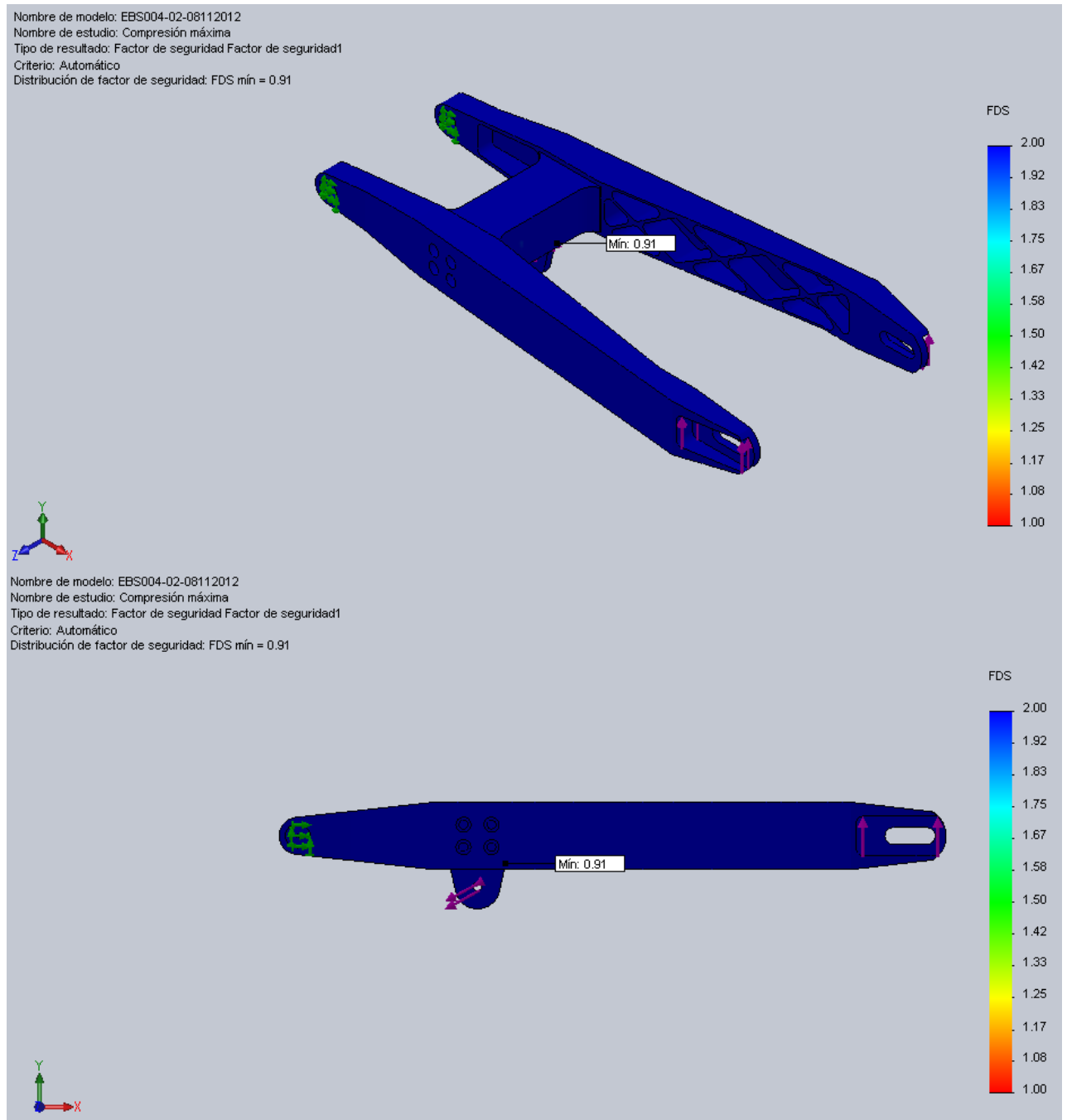


Fig.7. 6. Análisis de coeficiente de seguridad a compresión máxima diseño inicial

○ Paso por curva

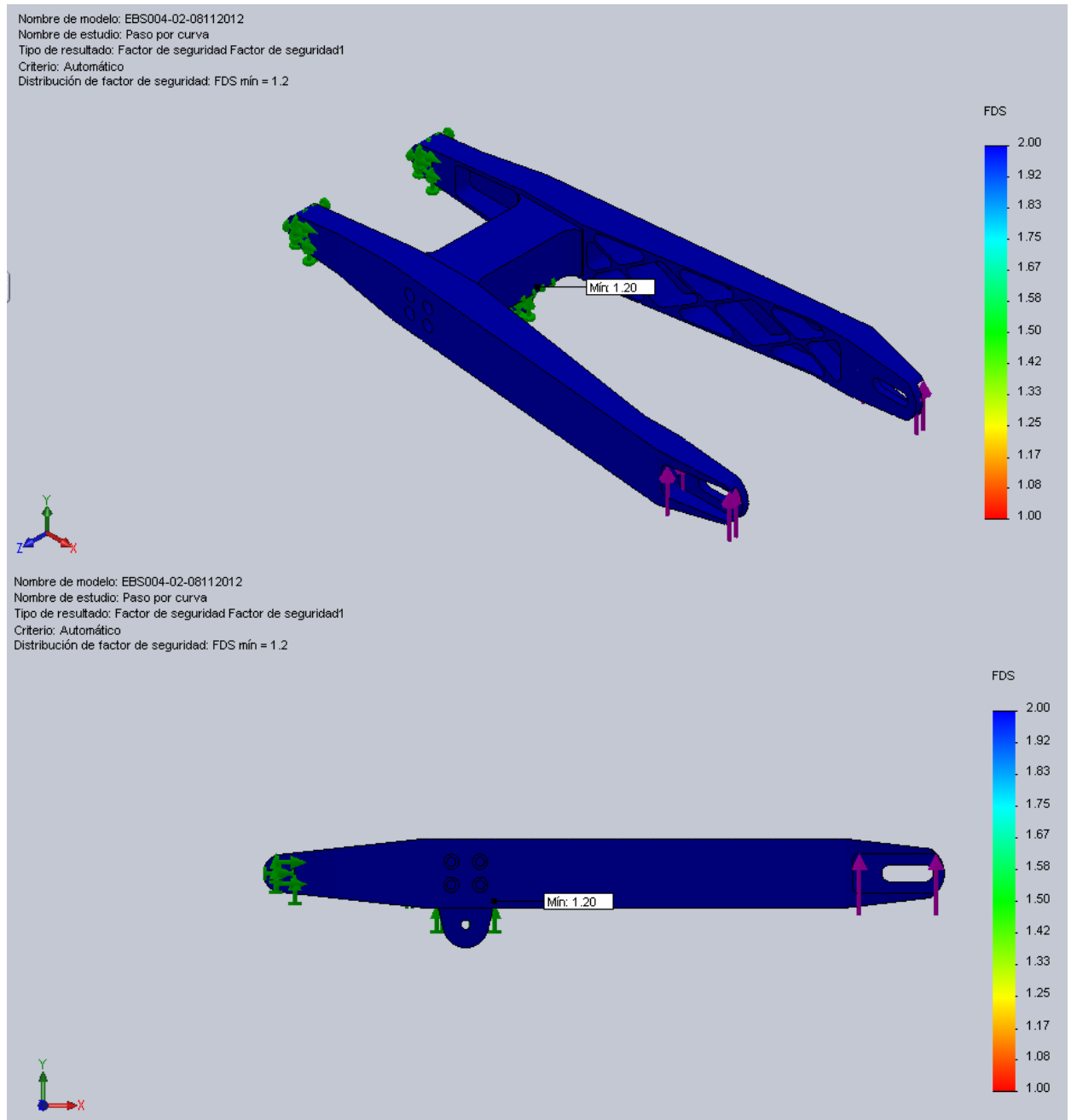


Fig.7. 7. Análisis de coeficiente de seguridad en paso por curva diseño inicial

○ Frenada máxima

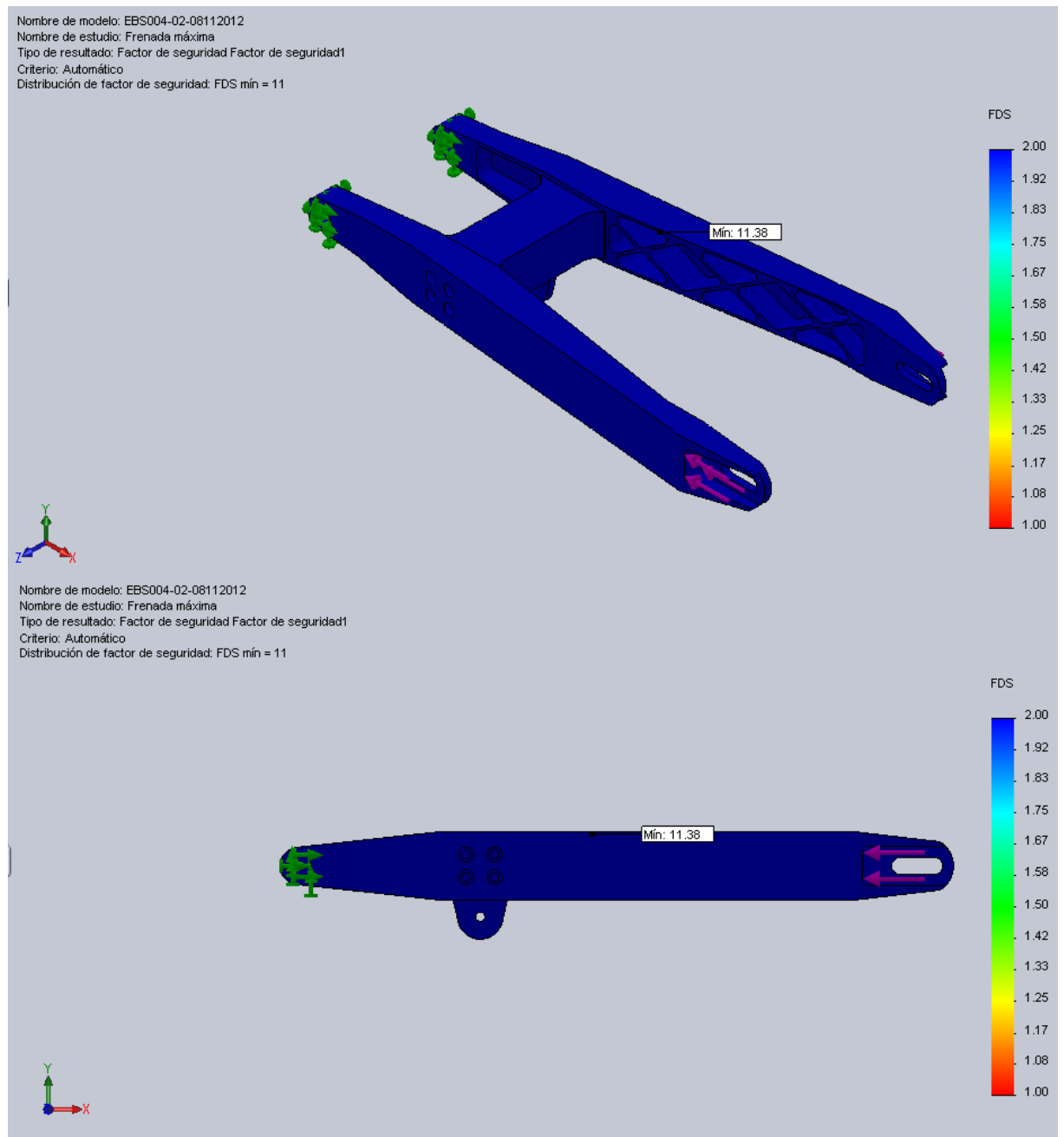


Fig.7. 8. Análisis de coeficiente de seguridad en frenada máxima diseño inicial

- GRADO DE RIGIDEZ TORSIONAL

Para el grado de rigidez torsional se aplica un par de fuerzas sobre el eje de pivotamiento del basculante en el alojamiento de los rodamientos. Las restricciones de movimiento se impondrán sobre el eje de la rueda trasera, más concretamente sobre sus puntos de apoyo.

La fuerza a aplicar sobre el alojamiento de los rodamientos será de valor 10787 N.

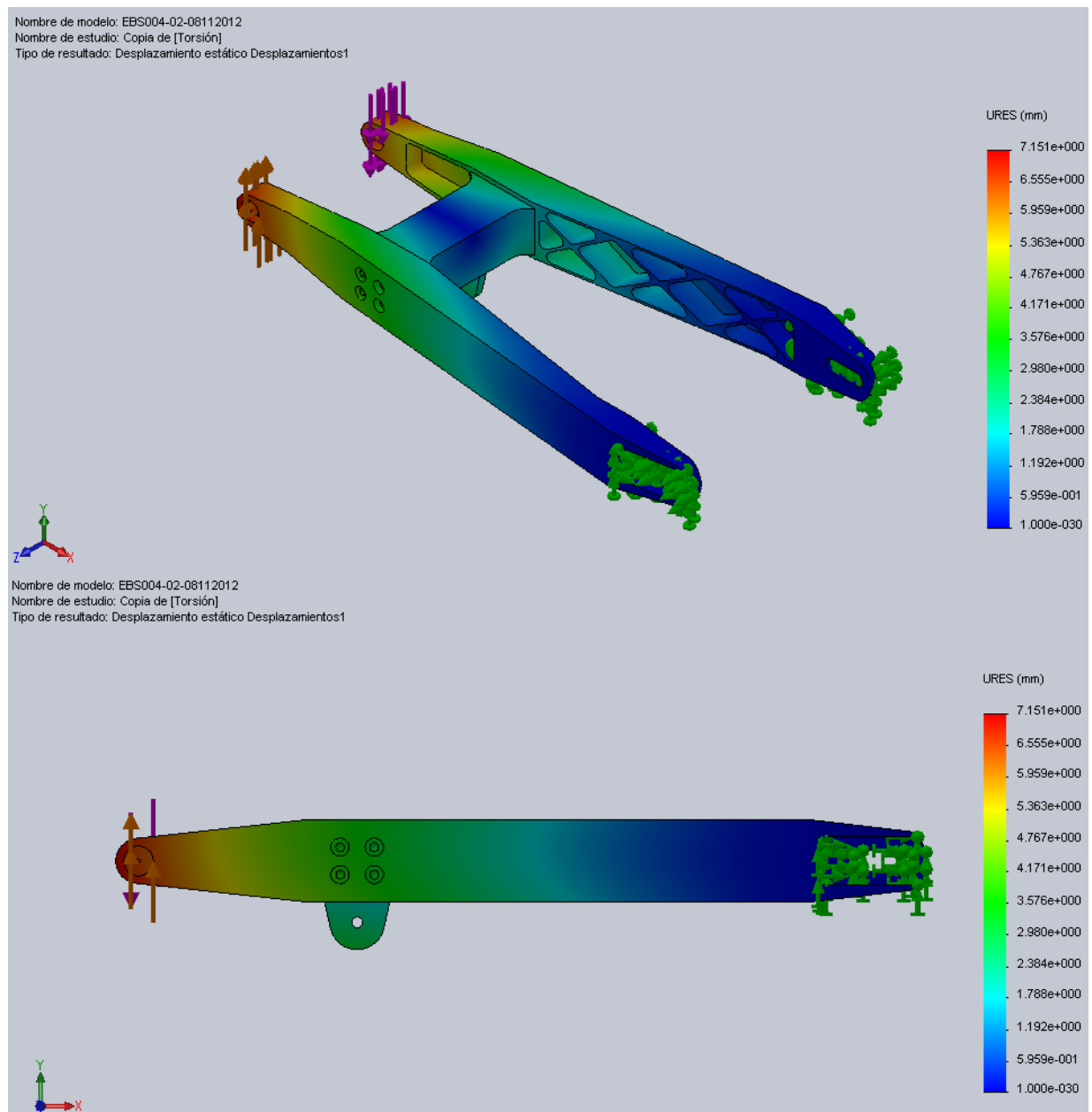


Fig.7. 9. Análisis de grado de rigidez torsional diseño inicial

Desplazamiento		Ángulo de deformación	
Desplazamiento vertical Y+	Desplazamiento vertical Y-	Grados	Radianes
7.151	7.151	4.808	0.0839

Tabla 15. Resultados Grado de rigidez torsional diseño inicial

7.1.1.1. Conclusión

HIPÓTESIS DE CARGA	TENSION MÁXIMA (MPa)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD CS>2
Compresión máxima	396.820	0.91
Paso por curva	179.540	1.34
Frenada máxima	21.094	11.38

Tabla 16. Resultados finales de las hipótesis de carga del diseño inicial

Se observa que las concentraciones de tensiones máximas se encuentran alrededor de la zona central de la traviesa, con un valor máximo de 396.820 MPa, para el caso de hipótesis de carga a "Compresión máxima" muy por encima de los valores aceptables para el material utilizado en este caso 6082-T6, obteniendo así un CS de valor 0.91. Para la hipótesis de carga "Paso por curva" obtenemos un valor aun por encima de los requisitos exigidos, concentrándose también las tensiones alrededor de la zona central de la traviesa. Por estos motivos las modificaciones que se realizarán deben de ser sobre la traviesa y la zona de anclaje de la misma a las vigas, reforzando la zona para así aliviar tensiones en toda la zona. Además en relación al grado de rigidez, se observan valores de desplazamiento verticales demasiado altos, con lo cual habrá que hacer las modificaciones pertinentes para disminuir ese desplazamiento.

7.1.2. Diseño final

Tras el estudio del diseño inicial, se procederá a las modificaciones pertinentes para llegar al resultado óptimo del diseño. El objetivo será reducir las tensiones en los puntos críticos para así conseguir el coeficiente de seguridad deseado y disminuir el grado de rigidez torsional.

Las características del nuevo basculante serán:

BASCULANTE	CARACTERISTICAS
Tipo basculante	Doble brazo
Material	Aluminio 6082-T6
Fabricación	Mecanizado CNC
Unión	Soldada
Longitud	500-530 mm

Tabla 17. Características generales basculante diseño final

Para conseguir la mejora deseada se realizarán las siguientes modificaciones:

- **Modificación de traviesa.** Para disminuir las tensiones máximas permitidas.
- **Aumento de sección en la zona central.** Se pretende aumentar la sección para así mejorar el grado de rigidez torsional, consiguiendo una rigidez del conjunto mayor y por consiguiente disminuir su desplazamiento.
- **Colocación de refuerzo transversal en la zona de pivotamiento.** Mejora del grado de rigidez torsional.
- **Eliminación de la unión mediante tornillería.** Se pretende disminuir el peso del conjunto y así contrarrestar el peso añadido con la introducción del refuerzo transversal y el aumento de sección en la zona central del basculante.

Con las modificaciones anteriores, el diseño final quedaría de la siguiente manera:

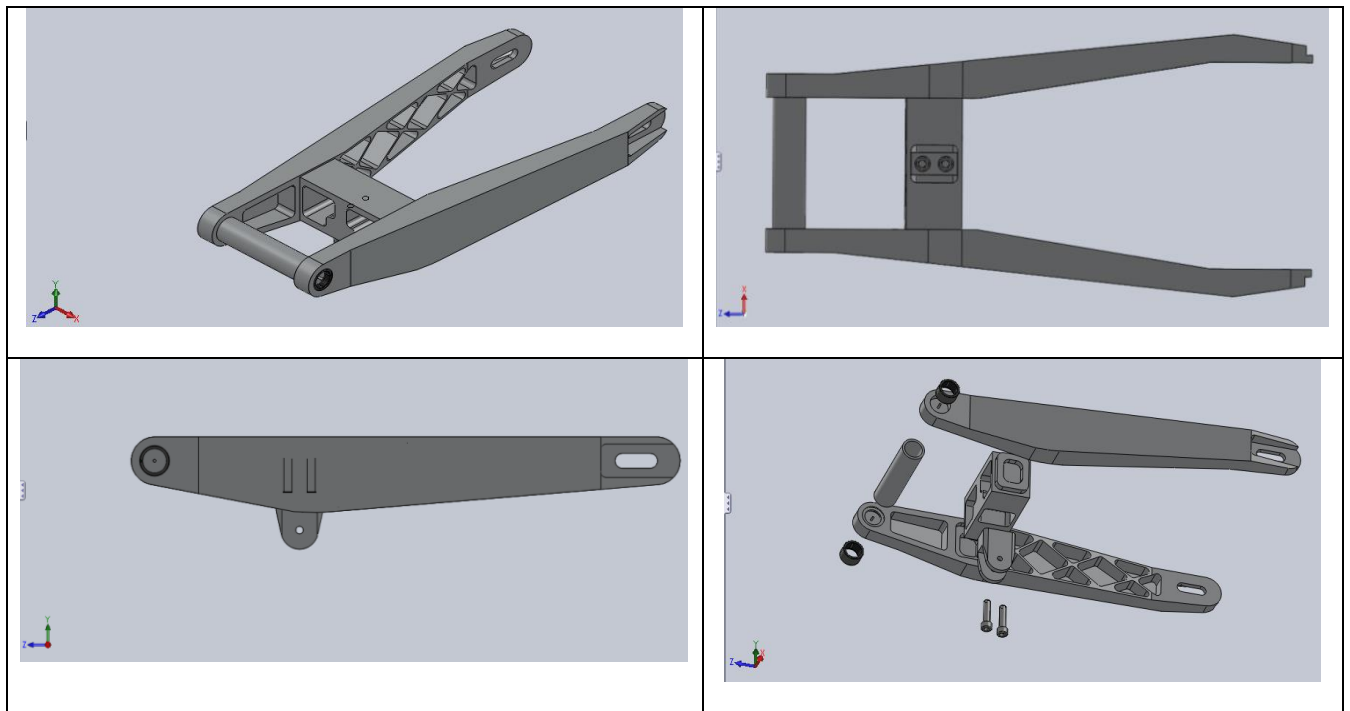


Fig.7. 10. Diseño final

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo de elementos finitos, mediante SolidWorks Simulation, en las distintas hipótesis de carga estudiadas.

- MALLADO

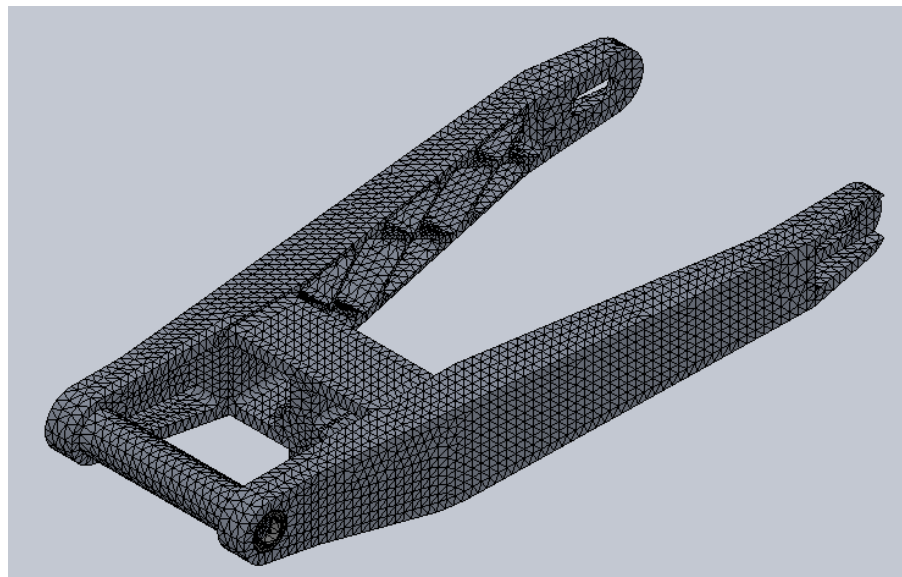


Fig.7. 11. Mallado Diseño final

- TENSIONES

- Compresión máxima

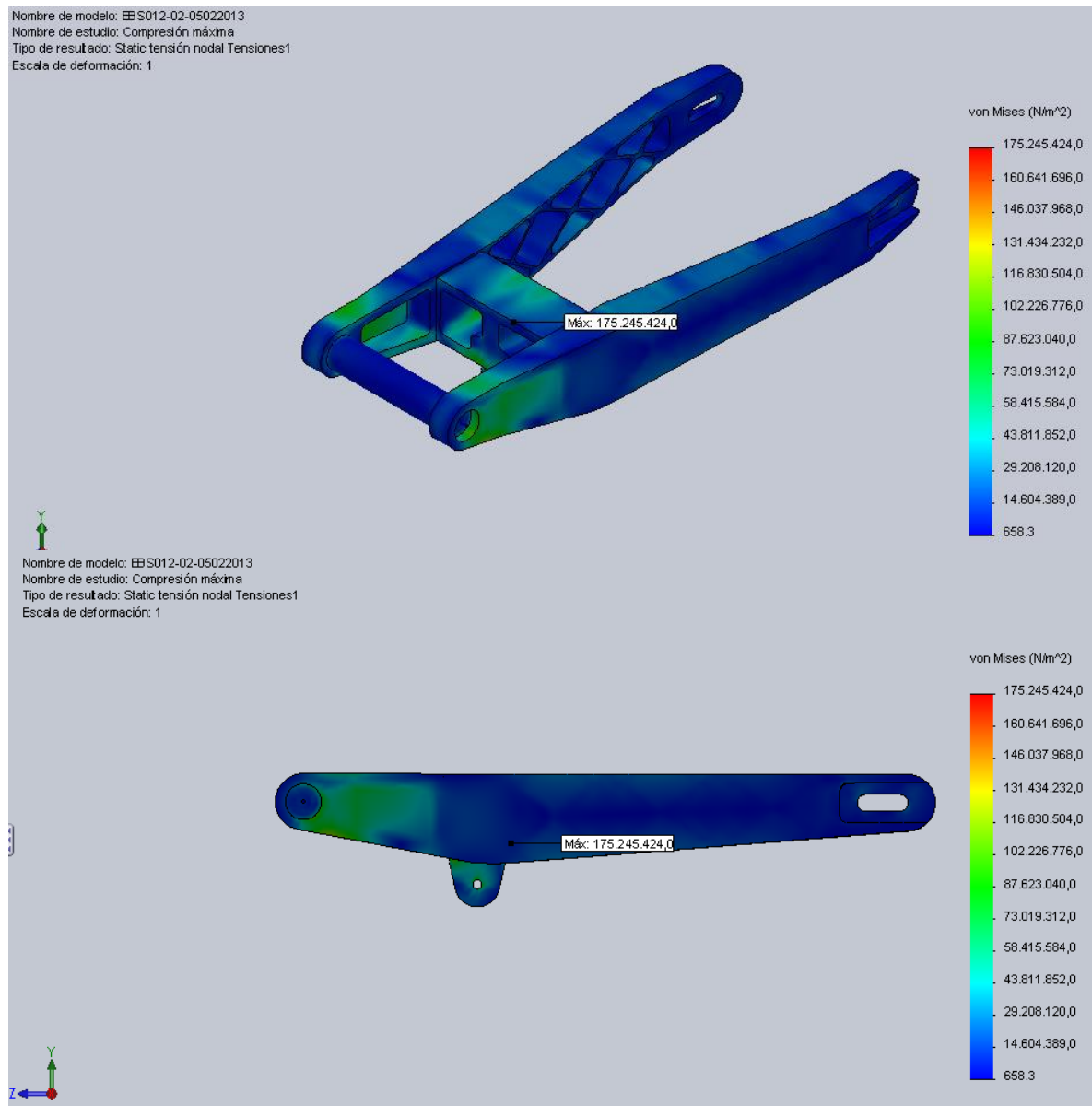


Fig.7. 12. Análisis de tensiones a compresión máxima diseño final

○ Paso por curva

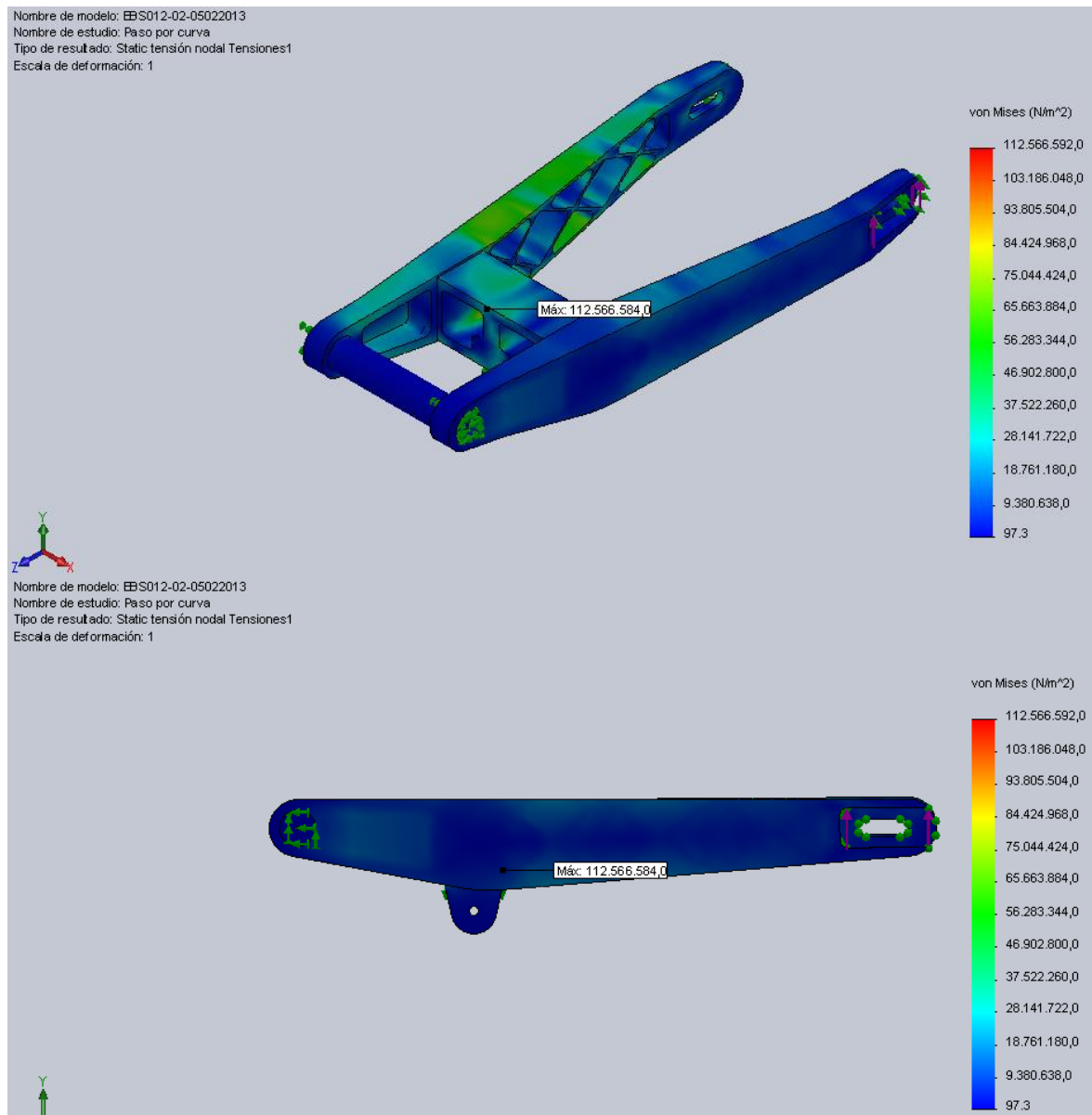


Fig.7. 13. Análisis de tensiones en paso por curva diseño final

○ Frenada máxima

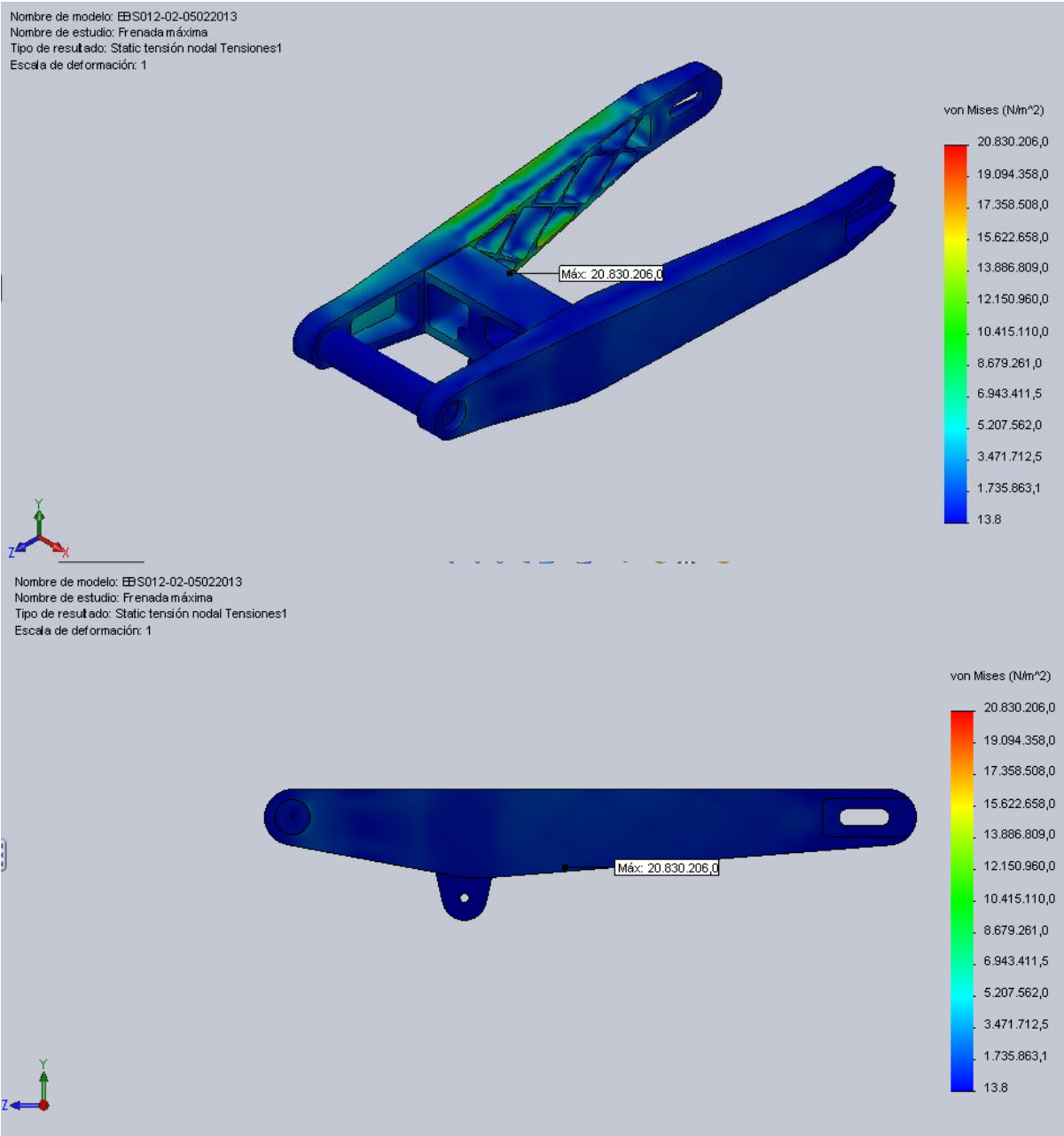


Fig.7. 14. Análisis de tensiones frenada máxima diseño final

- COEFICIENTE DE SEGURIDAD
 - Compresión máxima

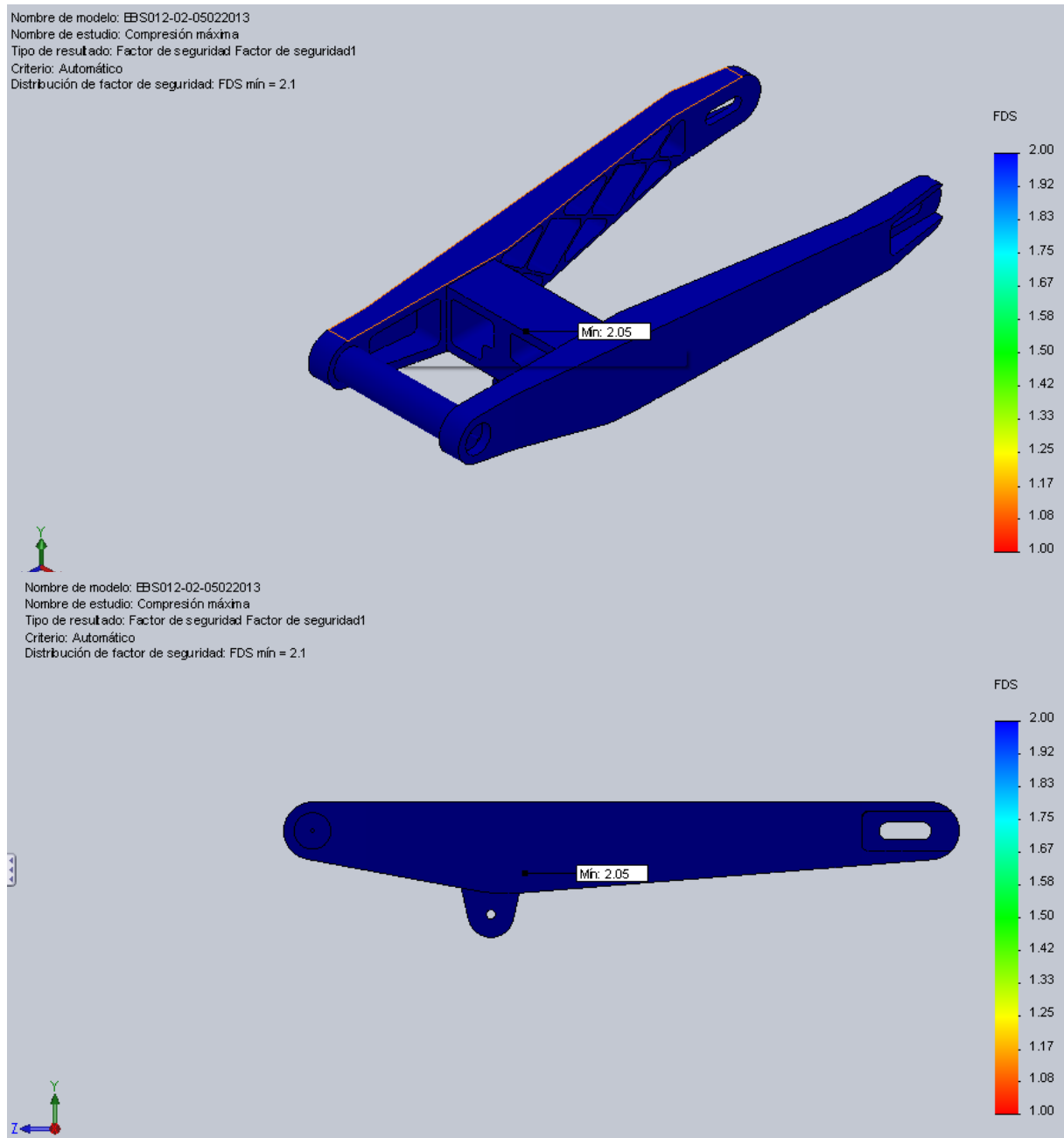


Fig.7. 15. Análisis de coeficiente de seguridad a compresión máxima diseño final

○ Paso por curva

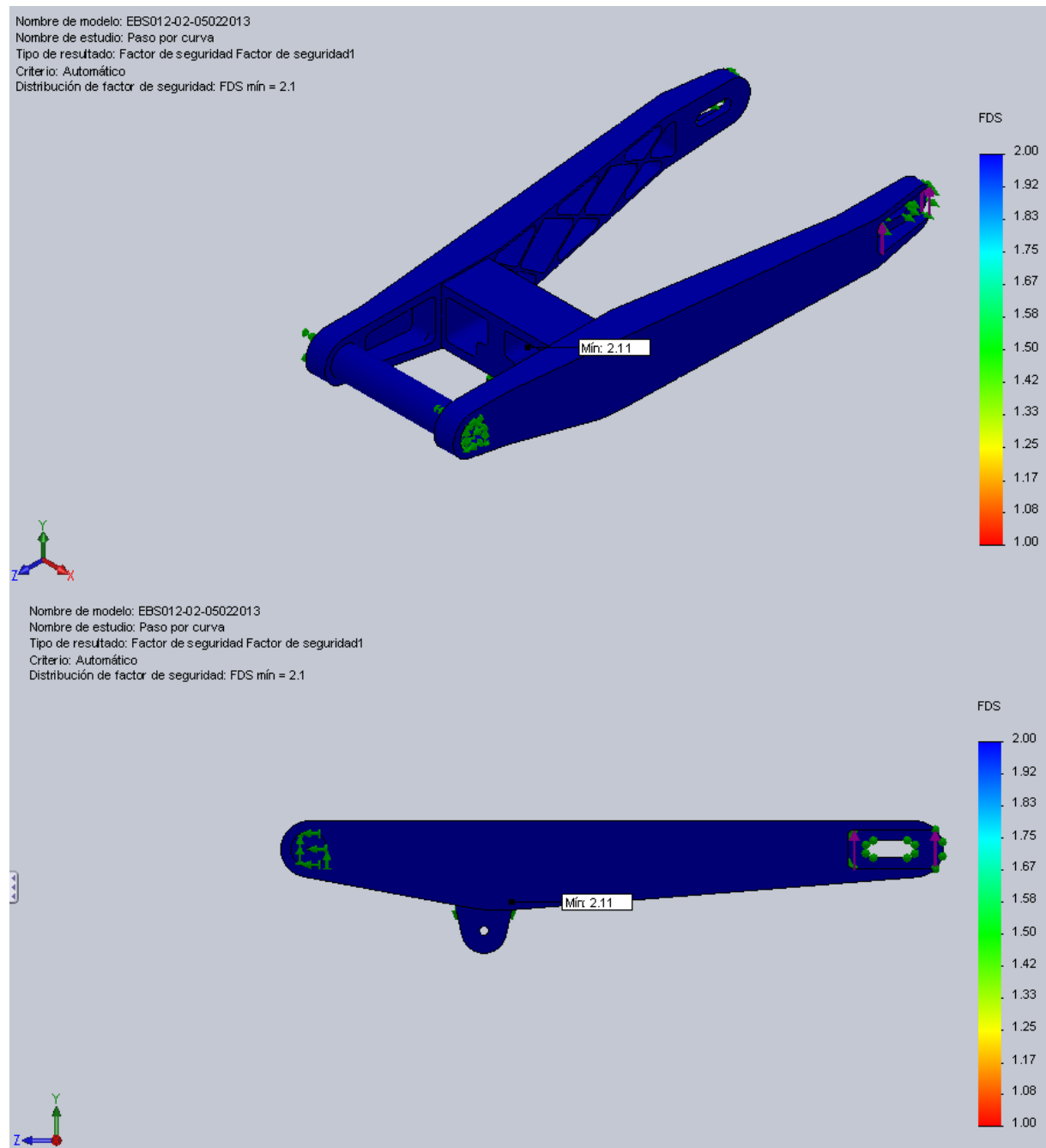


Fig.7. 16. Análisis de coeficiente de seguridad en paso por curva diseño final

○ Frenada máxima

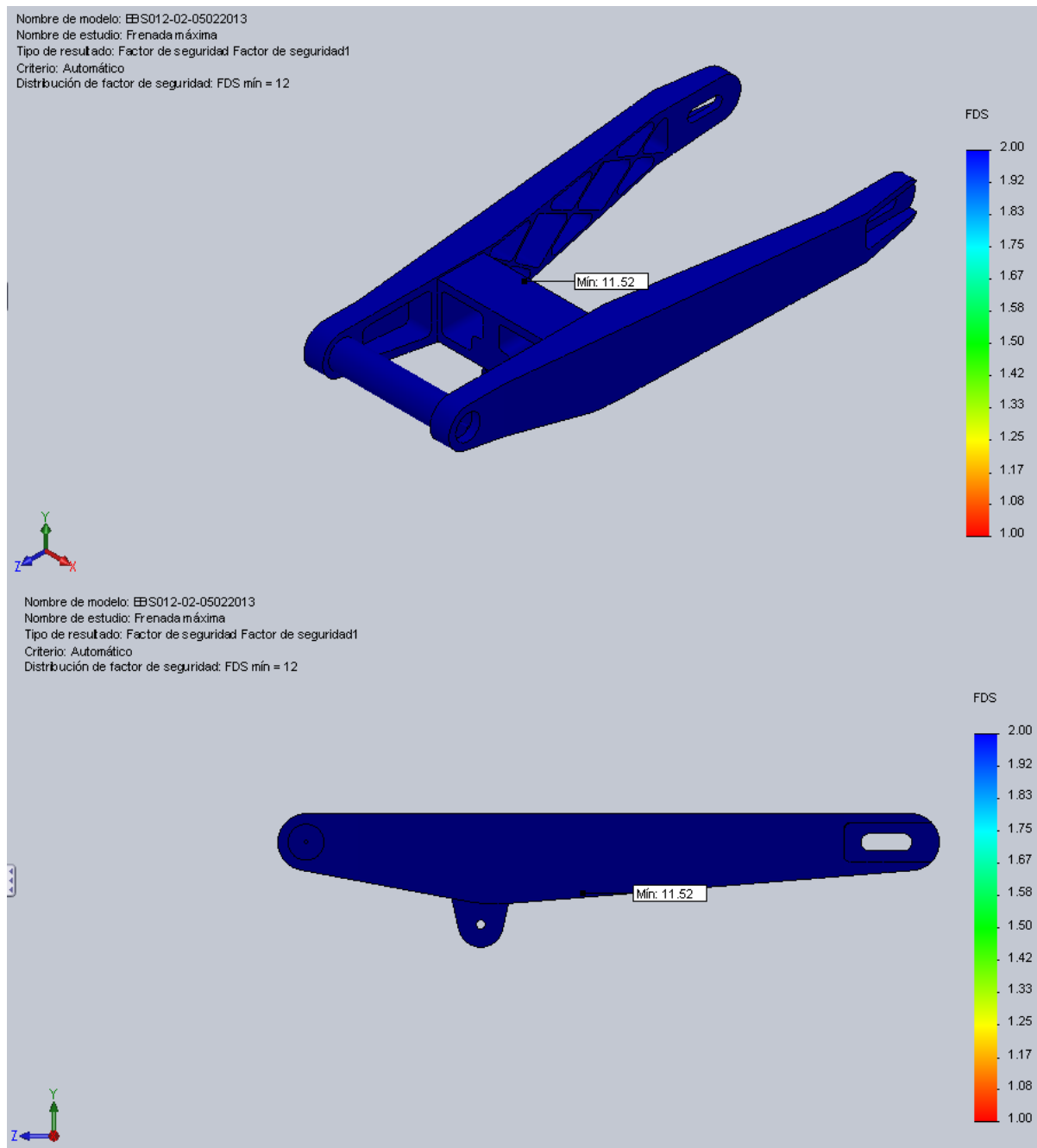


Fig.7. 17. Análisis de coeficiente de seguridad en frenada máxima diseño final

- GRADO DE RIGIDEZ TORSIONAL

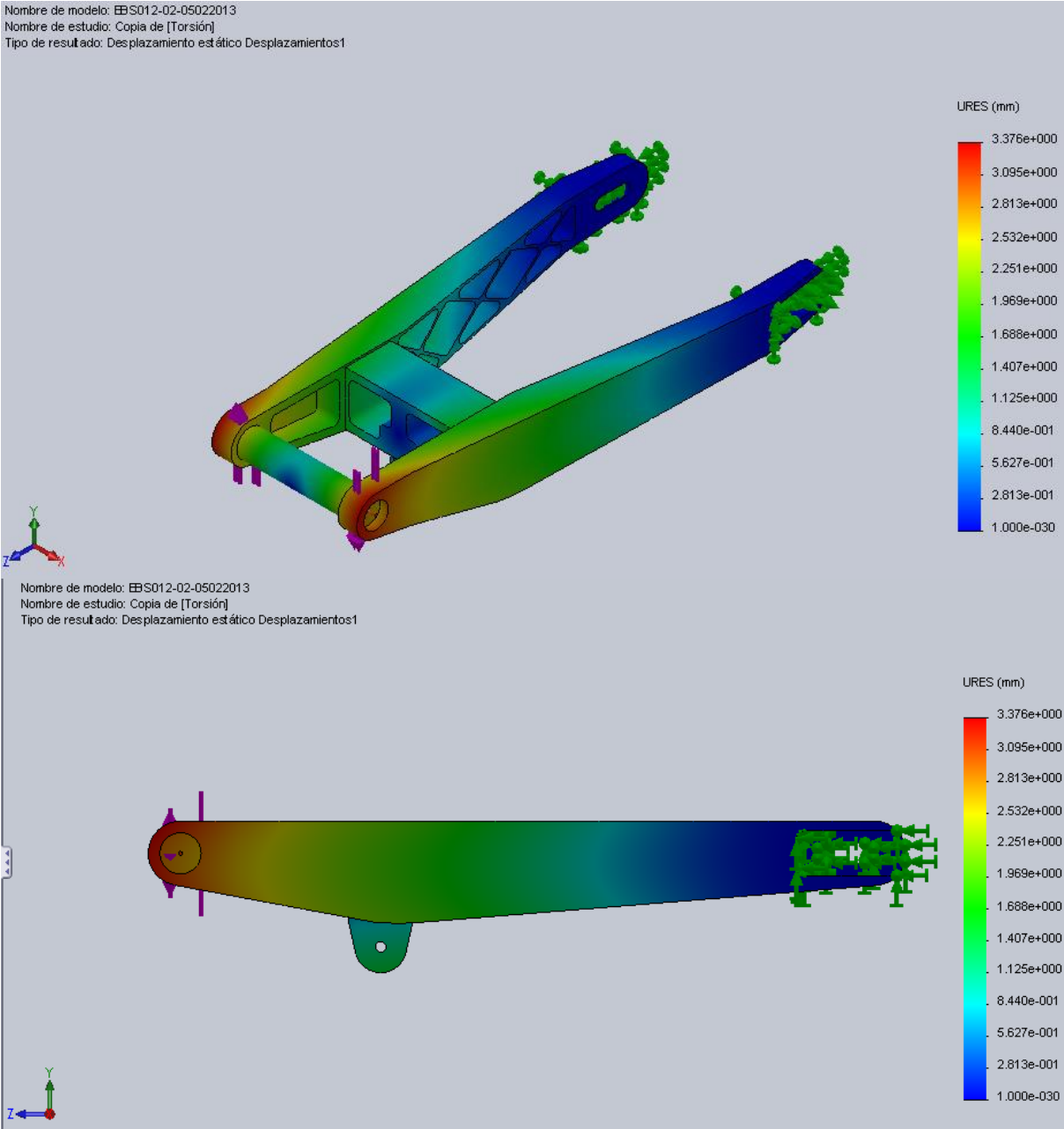


Fig.7. 18. Análisis de grado de rigidez torsional diseño final

Desplazamiento		Ángulo de deformación	
Desplazamiento vertical Y+	Desplazamiento vertical Y-	Grados	Radianes
3.376	3.376	2.27	0.0396

Tabla 18. Grado de rigidez torsional Diseño final

7.1.2.1. Conclusión

HIPÓTESIS DE CARGA	TENSION MÁXIMA (MPa)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD CS>2
Compresión máxima	175.245	2.05
Paso por curva	112.566	2.11
Frenada máxima	20.830	11.52

Tabla 19. Resultados finales de las hipótesis de carga del diseño final

Con las modificaciones realizadas sobre el diseño inicial se han reducido bastante las tensiones en la zona de la traviesa hasta conseguir valores máximos de 175.24 MPa y obteniendo así un CS para el aluminio 6082-T6 de 2.05 en la hipótesis de carga a “Compresión máxima”, También se puede observar que el valor de desplazamiento vertical en el cálculo de “Grado de rigidez torsional” ha disminuido a casi la mitad, esto quiere decir, que ha aumentado la rigidez del conjunto 2.27°. Este grado de rigidez se acerca mucho al grado de rigidez obtenido en el chasis de valor 2.92°, lo cual hace que el conjunto chasis-basculante se comporte de manera similar.

7.2. Diseño rocker (balancín)

Para el diseño del rocker los factores relevantes son el espacio del que se dispone y su peso, ya que es importante que el sistema de bieletas tenga el espacio suficiente para efectuar todo su recorrido sin encontrar ningún obstáculo a su paso y que sea lo más liviano posible, dentro del rango de tensiones máximas y coeficiente de seguridad para su correcto funcionamiento.

En el [Capítulo 5.7. “Estudio sistema de suspensión”](#) se han definido las cotas principales del rocker.

Rocker

Shock end

Link end



- DE (Pivot-Shock end): 100mm
- DF (Pivot-Link end): 75mm
- EF (Shock end-Link end): 80mm

El diseño preliminar es un diseño muy básico donde solamente se diseña la geometría principal.

El material utilizado es aluminio 7075-T6, un aluminio muy resistente, con muy buenas características mecánicas.

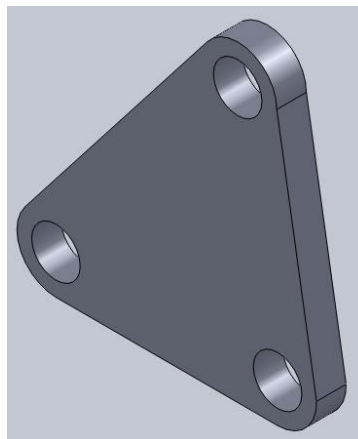


Fig.7. 19. Diseño preliminar rocker

7.2.1.Diseño inicial

Se parte de un diseño inicial a partir del cual se efectuarán las modificaciones pertinentes para su optimización.

El diseño inicial consta de tres alojamientos de rodamientos en cada uno de los puntos de pivotamiento, además de un vaciado central y rebajes laterales para aligerar peso.

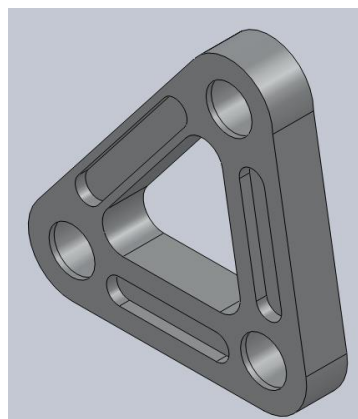


Fig.7. 20. Diseño inicial rocker

ROCKER	CARACTERISTICAS
Material	Aluminio 7075-T6
Fabricación	Mecanizado CNC
Rodamientos	Aguja
Espesor	16mm

Tabla 20. Características diseño inicial rocker

La hipótesis de carga sobre el rocker viene definida por las cargas máximas obtenidas en el [Capítulo 6.2.1. "Fuerzas actuantes sobre el rocker a compresión máxima"](#) mediante el programa de suspensiones Motorcycle kinematics.

Para este ensayo, empotramos el agujero del rocker correspondiente al amortiguador y aplicamos las cargas obtenidas del link y del anclaje del rocker al chasis.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo de elementos finitos, mediante SolidWorks Simulation, en las distintas hipótesis de carga estudiadas.

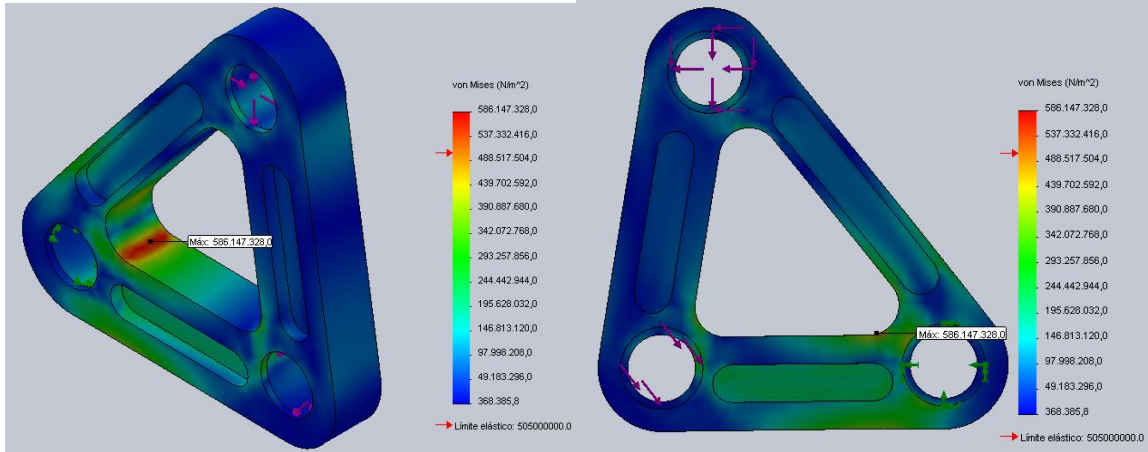


Fig.7. 21. Análisis de tensiones de rocker diseño inicial

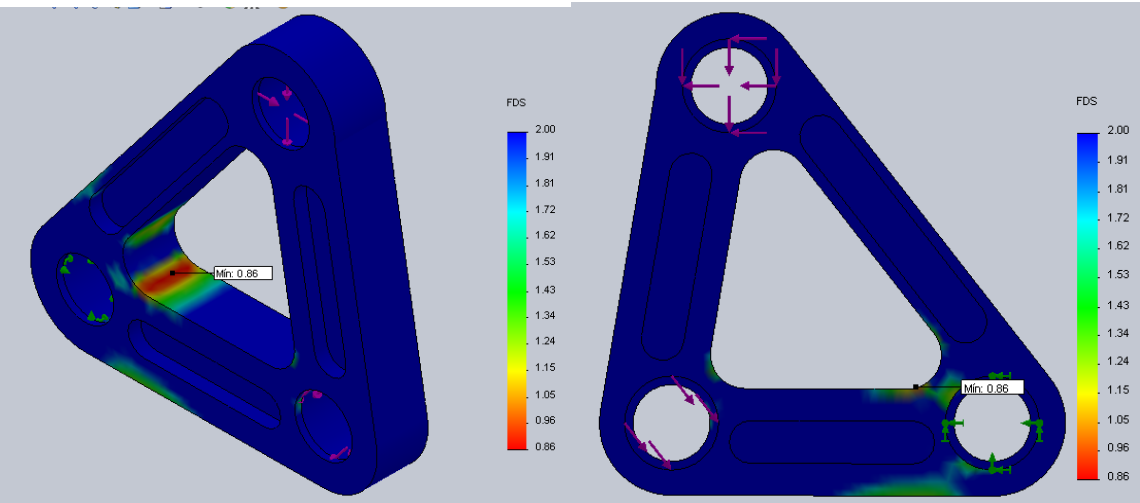


Fig.7. 22. Análisis coeficiente de seguridad de rocker diseño inicial

7.2.1.1. Conclusión

HIPÓTESIS DE CARGA	TENSION MÁXIMA (MPa)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD CS>2
Compresión máxima	586.147	0.86

Tabla 21. Resultados finales de las hipótesis de carga de rocker diseño inicial

Se observa que las zonas más delicadas son precisamente los alojamientos de los rodamientos, justamente donde están aplicadas las cargas. En esos puntos tenemos unos valores de 586.147

MPa, este valor es muy alto y sobrepasa el límite elástico de cualquier aluminio comercial, en particular para el aluminio elegido en este caso el 7075-T6, dando un CS de valor 0.86. Por este motivo se tendrá que volver a rediseñar el rocker teniendo en cuenta estos valores de tensiones máximos.

7.2.2.Diseño final

Tras el estudio del diseño inicial, se procederá a las modificaciones pertinentes para llegar al resultado óptimo del diseño. El objetivo será reducir las tensiones en los puntos críticos para así conseguir el coeficiente de seguridad deseado.

Para conseguir la mejora deseada se modificara el vaciado central rebajando únicamente 5 mm por cada lado dejando un nervio central de 6mm de espesor para aumentar la rigidez, los demás parámetros se mantienen iguales.

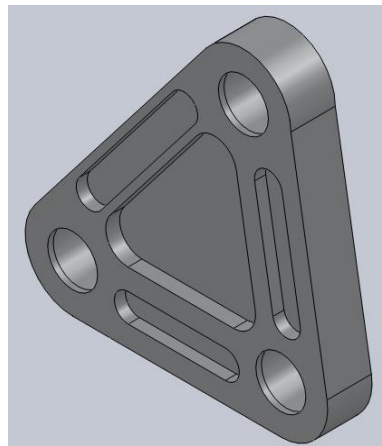


Fig.7. 23. Diseño final rocker

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo de elementos finitos, mediante SolidWorks Simulation, en las distintas hipótesis de carga estudiadas.

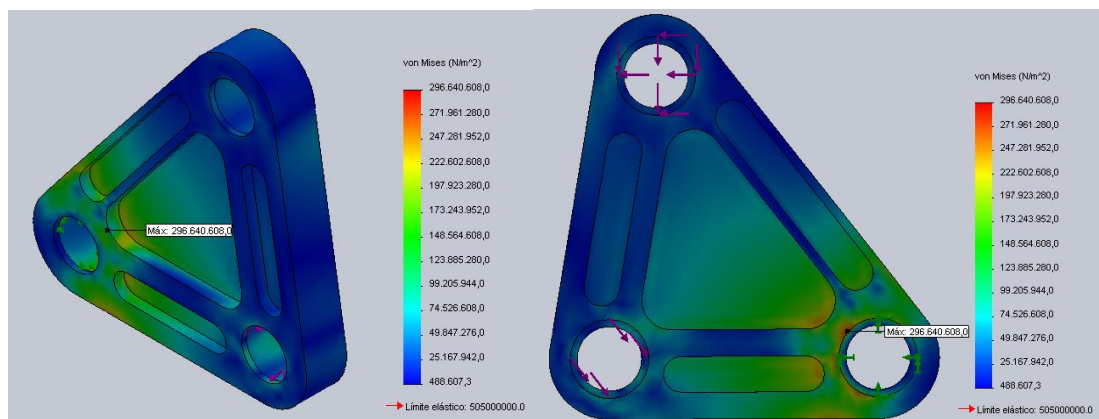


Fig.7. 24. Análisis de tensiones de rocker diseño final

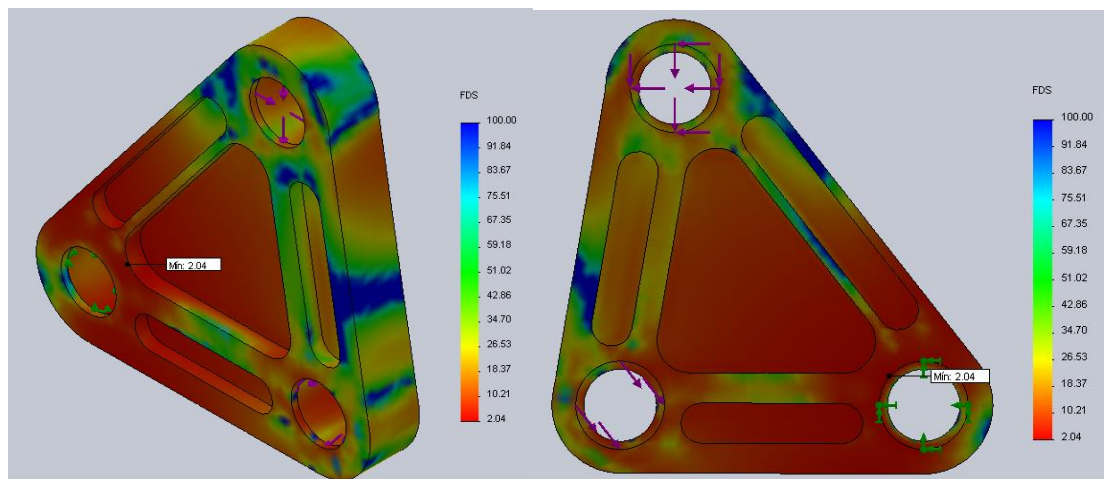


Fig.7. 25. Análisis coeficiente de seguridad de rocker diseño final

7.2.2.1. Conclusión

HIPÓTESIS DE CARGA	TENSION MÁXIMA (MPa)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD CS>2
Compresión máxima	296.640	2.04

Tabla 22. Resultados finales de las hipótesis de carga de rocker diseño final

Tras las modificaciones realizadas se observa que la tensión máxima, la cual, se encuentra en la misma zona que en el diseño inicial ha disminuido hasta un valor de 296.640, obteniendo así un CS de valor 2.04, entrando dentro del rango de seguridad buscado.

7.3. Diseño link

En el [Capítulo 5.7." Estudio sistema de suspensión"](#) se ha definido la longitud del link en 115mm y en el [Capítulo 6.2.2. "Fuerzas actuantes sobre link a compresión máxima"](#) la fuerza actuante sobre el link. El valor total de la fuerza es -9255 N, pero al componerse el sistema de suspensión de dos link, uno por cada lado del rocker, la fuerza actuante se dividirá entre 2, quedando esta con un valor de -4627.5 N.

Para el ensayo del link, al ser un tirante estará sometido a tracción, un extremo estará empotrado y sobre el otro se aplicará la fuerza.

7.3.1. Diseño inicial

Para su diseño y optimización se siguen los mismos pasos que para el rocker.

El link consta de dos alojamientos, uno de ellos va conectado al rocker y el otro al anclaje del basculante. El diseño del que se parte es de la siguiente forma:

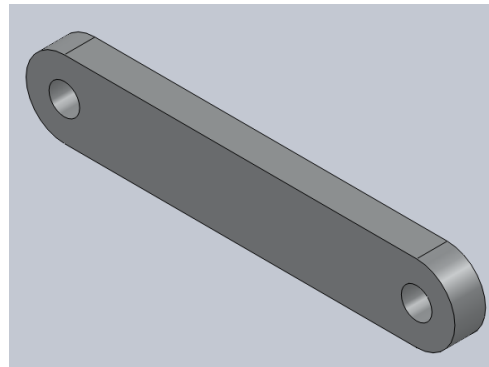


Fig.7. 26. Diseño inicial link

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo de elementos finitos, mediante SolidWorks Simulation, en las distintas hipótesis de carga estudiadas.

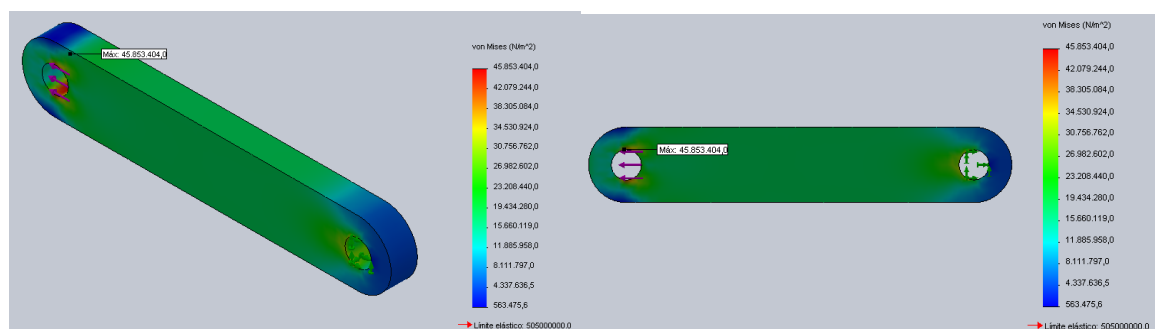


Fig.7. 27. Análisis de tensiones de link diseño inicial

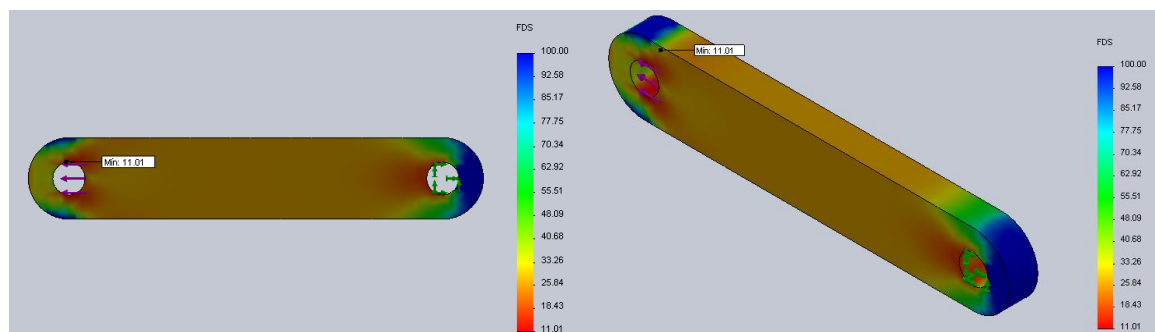


Fig.7. 28. Análisis coeficiente de seguridad de link diseño inicial

7.3.1.1. Conclusión

HIPÓTESIS DE CARGA	TENSION MÁXIMA (MPa)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD CS>2
Compresión máxima	45.853	11.1

Tabla 23. Resultados finales de las hipótesis de carga de link diseño inicial

En la zona de unión del link al rocker aparecen tensiones de en torno a 45.853, un valor muy inferior al límite elástico del material utilizado, en este caso también aluminio 7075-T6, obteniendo así un CS de valor 11.1. Por este motivo se puede rediseñar el link disminuyendo su peso.

7.3.2. Diseño final

Tras el estudio del diseño inicial, se procederá a las modificaciones pertinentes para llegar al resultado óptimo del diseño. El objetivo será reducir el peso del tirante ya que no hay problemas de tensiones ni de coeficiente de seguridad, estos están muy por debajo de los límites.

Se opta por una solución sencilla y eficaz vaciar los laterales del tirante.

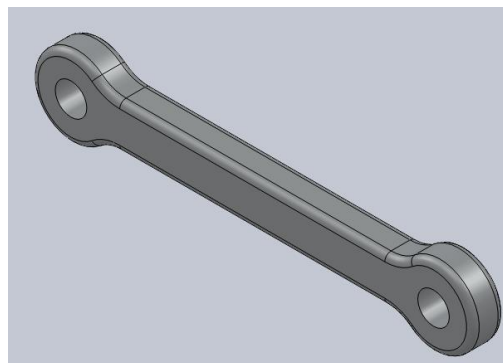


Fig.7. 29. Diseño final link

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo de elementos finitos, mediante SolidWorks Simulation, en las distintas hipótesis de carga estudiadas.

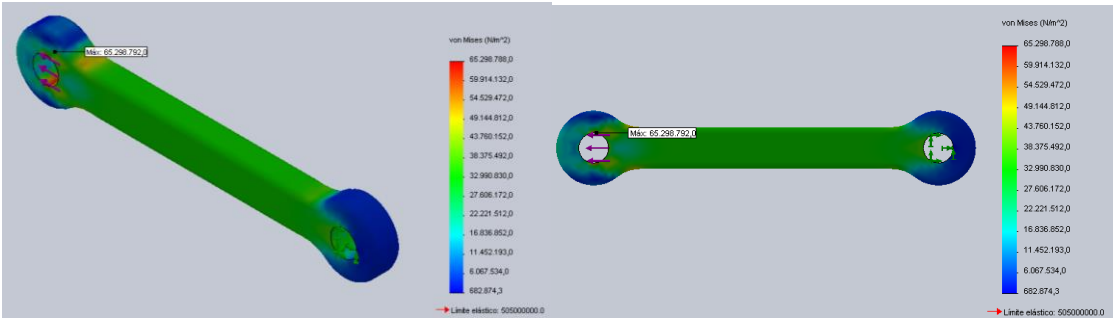


Fig.7. 30. Análisis de tensiones de link diseño final

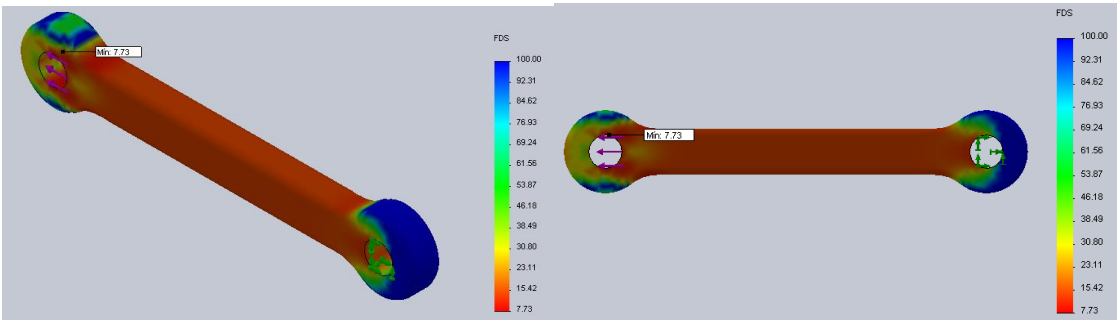


Fig.7. 31. Análisis coeficiente de seguridad de link diseño final

7.3.2.1. Conclusión

HIPÓTESIS DE CARGA	TENSION MÁXIMA (MPa)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD CS>2
Compresión máxima	65.298	7.73

Tabla 24. Resultados finales de las hipótesis de carga de link diseño final

Tras el rediseño se ha llegado a un punto de compromiso, obteniendo un valor de tensión máxima a tracción en el anclaje de 65.298 MPa un valor bastante bueno y un CS=7.73. Puesto que el peso de la pieza no se puede disminuir considerablemente más, debido a su poco tamaño se opta por dar como concluido el diseño del link.

8.FABRICACIÓN Y ENSAMBLADO DEL CONJUNTO

Una vez optimizado el basculante mediante elementos finitos y llegados al diseño final, se procederá al estudio de fabricación del conjunto y su posterior ensamblado. El conjunto analizado y fabricado será el utilizado para la III Competición Internacional Motostudent, con lo que los niveles de mecanizado y ensamblado deberán ser óptimos.

En este apartado se describe el proceso de mecanizado y su posterior unión mediante soldadura TIG por arco pulsado.

Para la fabricación de los componentes utilizara dos procesos de mecanizado, inicialmente se cortará el perfil deseado de la pieza mediante una máquina de corte por chorro de agua FLOW, trabajo realizado por la empresa TAMAR SL, y posteriormente se mecanizará mediante un centro de mecanizado CNC Holque por el IES Politécnico.

Para el mecanizado se deberá de realizar una hoja de ruta donde se describirá el proceso de fabricación de cada pieza, exponiendo las operaciones a realizar:

- Posiciones de la pieza
- Herramientas usadas
- Profundidad de las pasadas de corte
- Revoluciones
- Velocidad de corte

Estas características serán las utilizadas por los operarios para configurar la máquina y poder así realizar las operaciones con seguridad.

Una vez realizada la hoja de ruta se procederá a la realización del programa de ejecución de mecanizado a través del programa CAD/CAM GibbsCAM, con el cual a través del post-procesador necesario para el funcionamiento del centro de mecanizado se obtendrá el código ISO necesario para realizar las operaciones de mecanizado programadas.



Fig.8. 1. Máquina de corte por chorro de agua FLOW



Fig.8. 2. Centro de mecanizado CNC

8.1. Sistemas CAM

La ingeniería CAM hace referencia concretamente a aquellos sistemas informáticos que ayudan a generar los programas de Control Numérico necesarios para fabricar las piezas en máquinas con CNC. A partir de la información de la geometría de la pieza, del tipo de operación deseada, de la herramienta escogida y de las condiciones de corte definidas, el sistema calcula las trayectorias de la herramienta para conseguir el mecanizado correcto, y a través de un postprocesador genera los

correspondiente programas de CN con la codificación específica del CNC donde se ejecutarán. En general, la información geométrica de la pieza proviene de un sistema CAD, que puede estar o no integrado con el sistema CAM. Si no está integrado, dicha información geométrica se pasa a través de un formato común de intercambio gráfico. Como alternativa, algunos sistemas CAM disponen de herramientas CAD que permiten al usuario introducir directamente la geometría de la pieza, si bien en general no son tan ágiles como las herramientas de un sistema propiamente de CAD.

La utilización más inmediata del CAM en un proceso de ingeniería inversa es para obtener prototipos, los cuales se utilizan básicamente para verificar la bondad de las superficies creadas cuando éstas son críticas. Desde el punto de vista de la ingeniería concurrente es posible, por ejemplo, empezar el diseño y fabricación de parte del molde simultáneamente al diseño de la pieza que se quiere obtener con el molde, partiendo de la superficie externa de la pieza mientras aún se está diseñando la parte interna de la misma.

En este caso el programa utilizado será GibbsCAM.



Fig.8. 3. Programa CAM GibbsCAM

8.2. Fabricación Vigas

Para la fabricación se ha seleccionado aluminio 6082-T6 cuyas características mecánicas vienen especificadas en la hoja de calidad proporcionada por la empresa suministradora “Hurtado Suministros”. La pletina de la cual se parte tiene unas dimensiones de “610x100x90”.

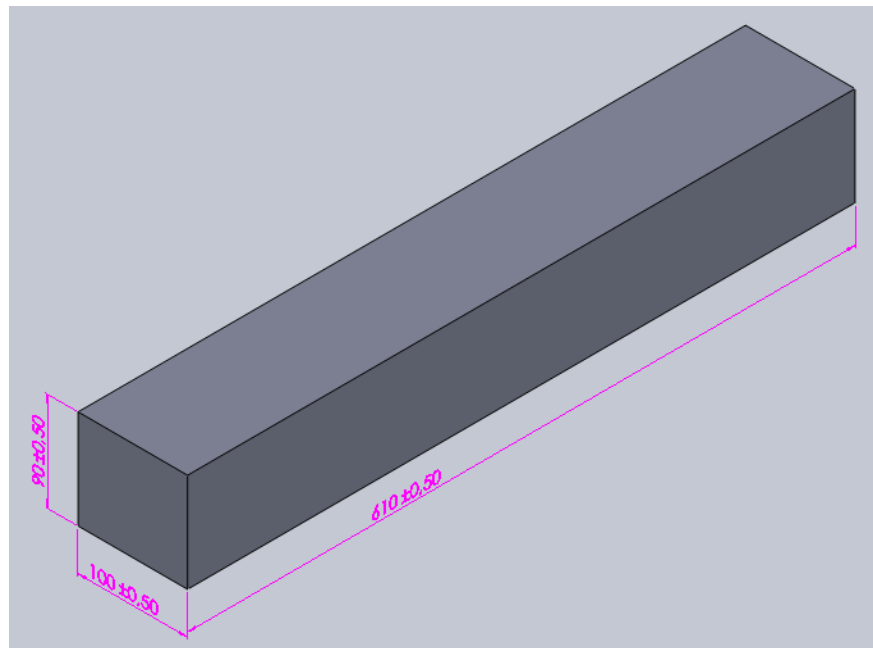


Fig.8. 4. Pletina bruto viga

8.2.1.Corte por chorro de agua

La primera operación será realizar el corte por chorro por agua del material inicial, para el corte se proporcionará a la empresa TAMAR SL el CAD con el perfil de corte a realizar.

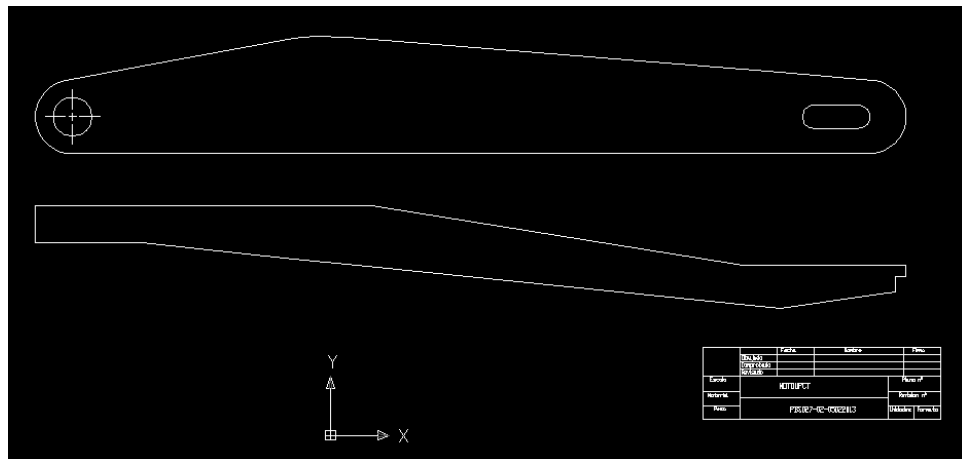


Fig.8. 5. CAD viga para corte por chorro de agua

El CAD suministrado detalla el perfil del corte que se quiere realizar, este perfil se introduce en el software proporcionado por la máquina de corte por chorro de agua, el cual dándole un punto inicial de corte y especificando la velocidad de corte y profundidad de corte se obtiene un corte con una desviación mínima. En este caso para el espesor de 90 mm se obtiene una desviación de 0.5 mm, el cual es asumible y posteriormente se solventará en el mecanizado mediante CNC.

Con el corte realizado se obtendrá el perfil en planta de la pieza, mostrado en la siguiente imagen:

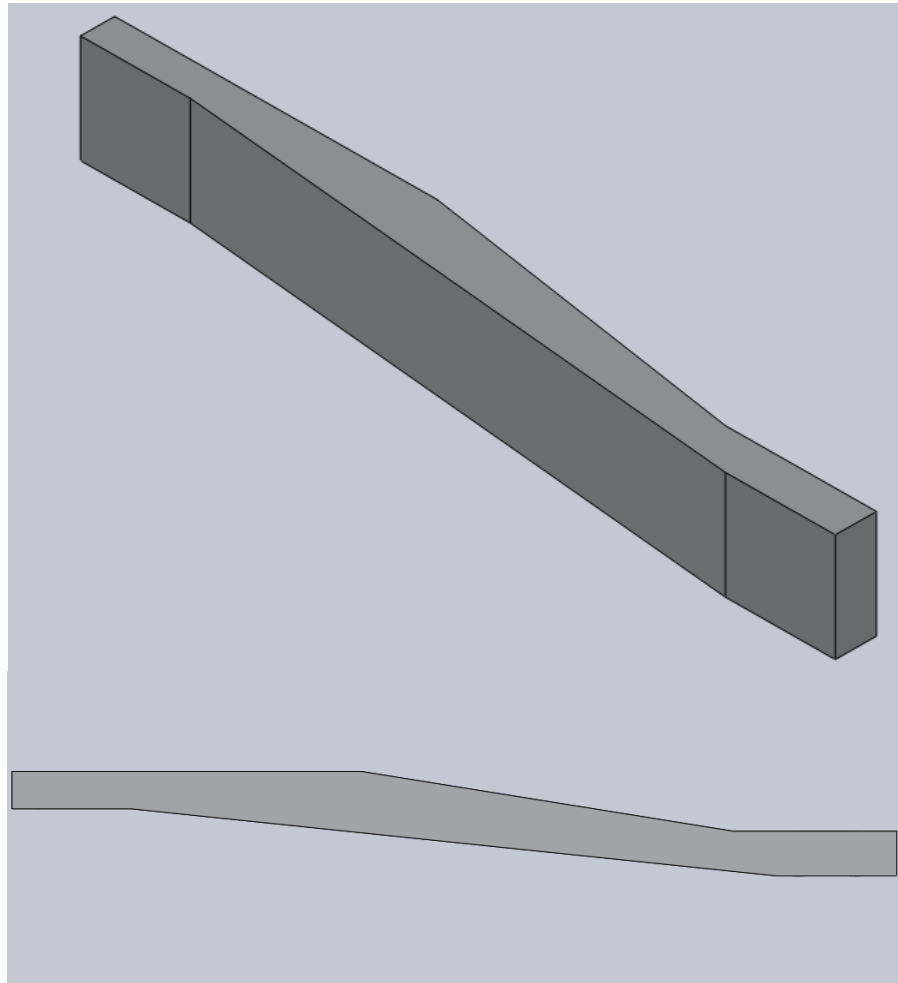


Fig.8. 6. Imagen viga posterior corte por chorro de agua

8.2.2.Mecanizado mediante CNC

Una vez obtenido el perfil mediante el corte por agua, se procede al mecanizado mediante el centro de mecanizado CNC. Para el mecanizado de la pieza primeramente se describe su proceso de fabricación. Al tratarse de piezas simétricas el proceso de fabricación de una de ellas es equivalente a la otra, optimizando así el tiempo de estudio de la pieza. Para este proceso se le suministrará al IES Politécnico de Cartagena el CAD de la pieza así como planos de fabricación para su estudio preliminar de los procedimientos a llevar a cabo para el mecanizado.

La pieza consta de unos alojamientos para rodamientos, el alojamiento del eje de la rueda trasera y el de la traviesa, en los cuales habrá que prestar atención para su correcta fabricación según los planos y el CAD proporcionados. Las dimensiones y características de estos alojamientos serán posteriormente verificadas para su aceptación. La zona interior está

compuesta por un nerviado en forma romboidal y el alojamiento de la traviesa. A continuación se muestran en la siguiente imagen los distintos alojamientos y las cajas de los que se compone:

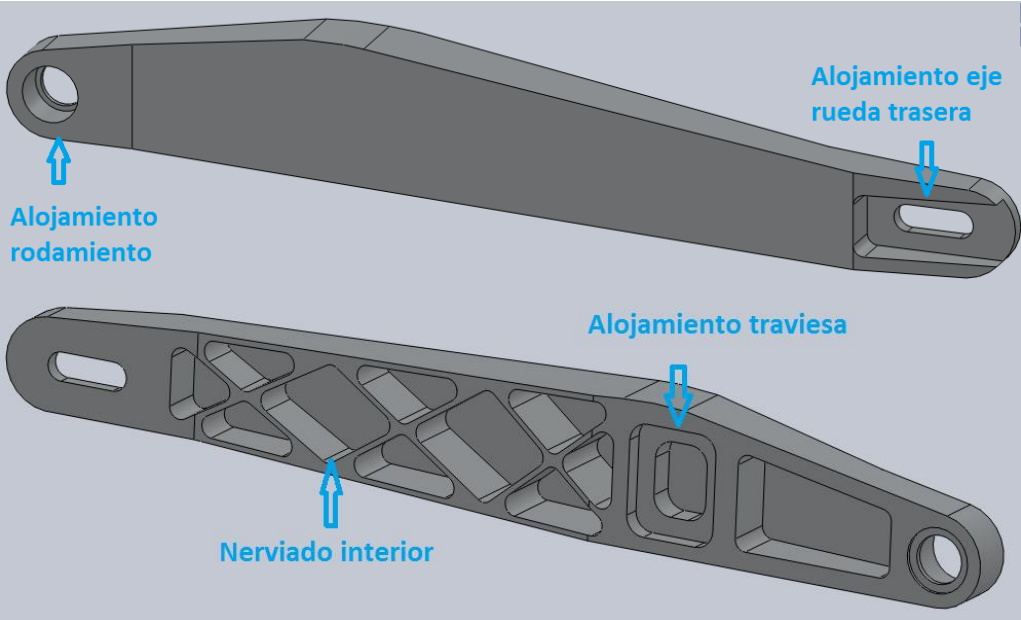



Fig.8. 7. Características viga

8.2.3.Utillaje

Para la fabricación de las vigas y sus diferentes posturas, son necesarios variados sistemas de utillaje para sujetar las piezas en la mesa de trabajo, ya sea en CNC o en máquina convencional para darle estabilidad y adherencia a la pieza contra la mesa de trabajo.

UTILLAJE	FUNCION
	Cilindros con cabeza de tornillo excéntrico para apriete lateral.

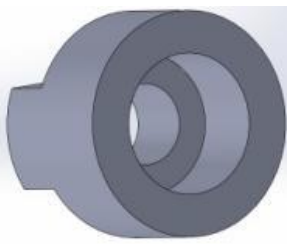
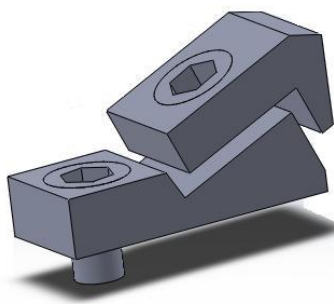
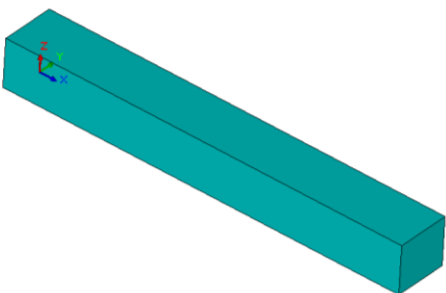
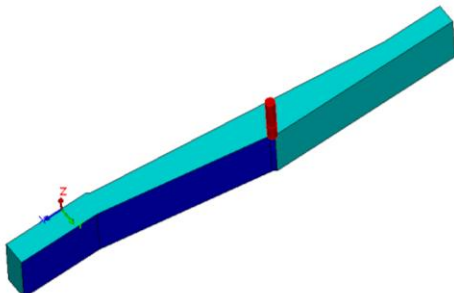
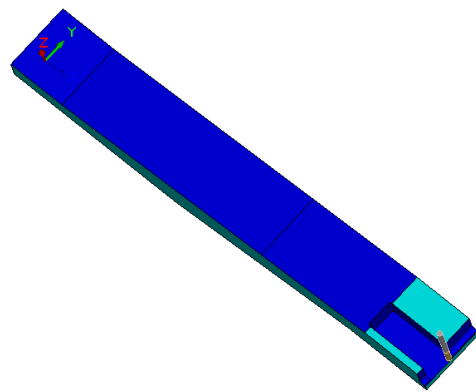
	Cilindros fabricados para hacer tope. 4 unidades
	Bridas de empuje lateral.

Tabla 25. Utillaje CNC vigas

Secuencia de trabajo			
Pieza	Operación	Herramienta	Condiciones
			Comenzamos a partir de un bruto rectangular de 610x100x90 mm
	Corte perfil	Corte por chorro por agua	El perfil ha sido mecanizado mediante chorro por agua

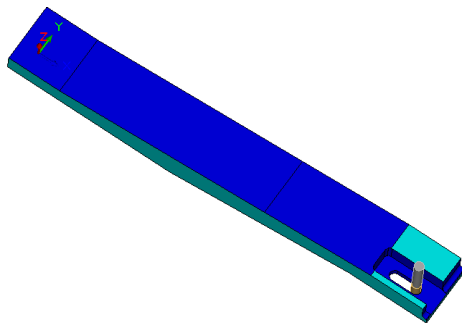


Mecanizado
cajera tensor
de cadena.

Fresa cilíndrico
frontal $\varnothing 10\text{mm}$



- Rpm: 1500
- Avance de entrada: 200mm/min
- Avance de contorneado: 300mm/min
- Profundidad de pasada: 1mm
- Profundidad del mecanizado: 22mm
- Tiempo de mecanizado: 15min.

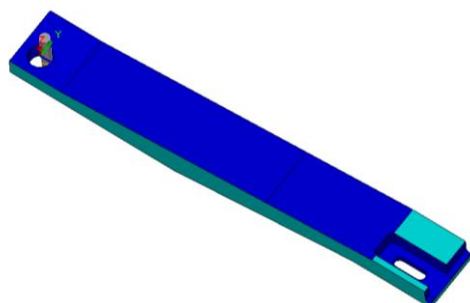


Mecanizado
eje rueda

Fresa cilíndrico
frontal $\varnothing 10\text{mm}$



- Rpm: 1500
- Avance de entrada: 200mm/min
- Avance de contorneado: 300mm/min
- Profundidad de pasada: 1mm
- Profundidad del mecanizado: 8mm
- Tiempo de mecanizado: 3 5min.

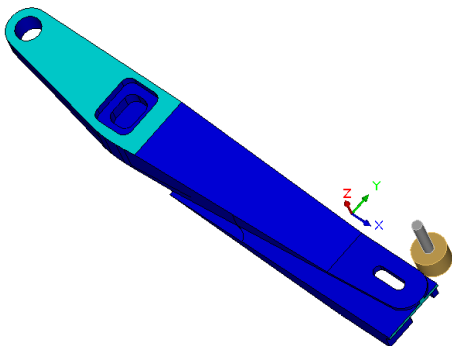
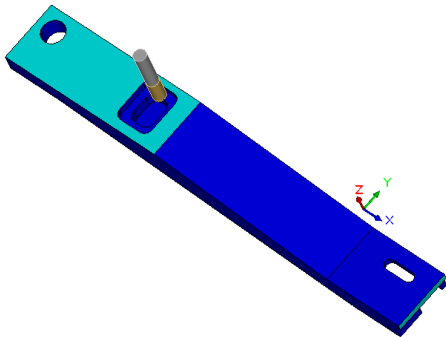




Mecanizado
cajera
alojamiento
rodamiento

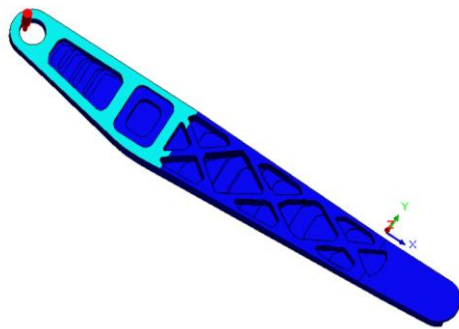
Fresa cilíndrico
frontal $\varnothing 25\text{mm}$



- Rpm: 1500
- Avance de entrada: 200mm/min
- Avance de contorneado: 300mm/min
- Profundidad de pasada: 1mm
- Profundidad del mecanizado: 25mm



		<ul style="list-style-type: none">○ Tiempo de mecanizado: 15min.
Mecanizado cajas unión travesía	Fresa cilíndrico frontal 10mm 	<ul style="list-style-type: none">○ Rpm:1500○ Avance de entrada: 200mm/min○ Avance de contorneado: 300mm/min○ Profundidad de pasada: 1mm○ Profundidad del mecanizado: 25mm○ Tiempo de mecanizado: 15min.
Mecanizado contorno	Fresa cilíndrico frontal 40mm 	<ul style="list-style-type: none">○ Rpm: 1000○ Avance de entrada: 200mm/min○ Avance de contorneado: 300mm/min○ Profundidad de pasada: 1mm○ Profundidad del mecanizado: 70mm○ Tiempo de mecanizado: 20min



Mecanizado
cajeras para
aliviar peso

Fresa cilíndrico
frontal
10mm



- Rpm: 1500
- Avance de entrada: 800mm/min
- Avance de contorneado: 150mm/min
- Profundidad de pasada: 2.5mm
- Profundidad del mecanizado: 10mm
- Tiempo de mecanizado: 15min.

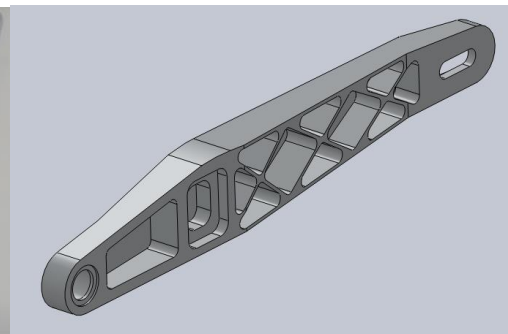
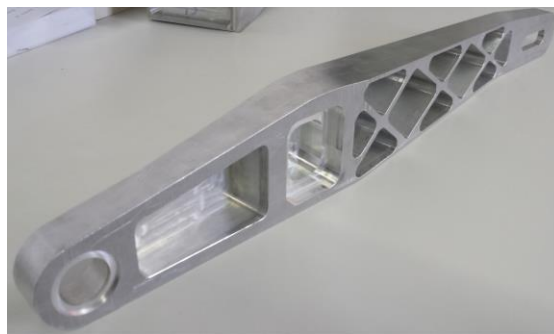


Tabla 26. Secuencia de trabajo viga

8.2.4.Data sheet herramientas

Herramienta	Características
	FRESA MULTICORTE
	DIAMETRO 10 COMPLETO V
	CORTE AL CENTRO
	Fresa material HSSe-PM
	MANGO SEGÚN DIN 1835 B
	DIRECCIÓN DE CORTE A DERECHAS
	DIRECCIÓN DE HÉLICE A DERECHAS
	ÁNGULO DE HÉLICE 30°
	PRECIO 71 €/UNIDAD

	FRESA CILINDRICO-FRONTAL DE CUATRO CORTES
	DIAMETRO 25 mm
	METAL DURO INTEGRAL MICROGRANULADO
	CORTE DERECHO
	INCLINACIÓN DE LA HELICE <25°
	NORMA DIN844N
	PRECIO 160€/UNIDAD
	FRESA CILINDRICO-FRONTAL DE CUATRO CORTES
	DIÁMETRO 25 mm
	METAL DURO INTEGRAL MICROGRANULADO
	CORTE DERECHO
	INCLINACIÓN DE LA HELICE <25°
	NORMA DIN844N
	PRECIO 160€/UNIDAD

Tabla 27. Herramientas CNC viga

8.3. Fabricación traviesa

Para la fabricación de la traviesa se utiliza el mismo procedimiento que se ha llevado a cabo para la fabricación de las vigas.

Se parte de un tocho de aluminio 6082-T6 de dimensiones "65x75x170."

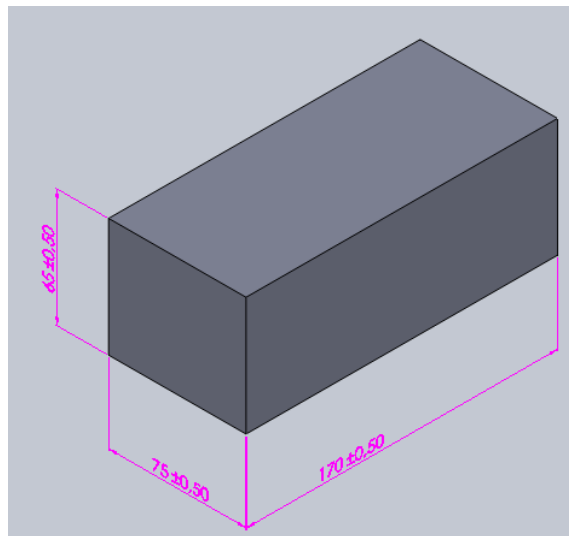


Fig.8. 8. Bruto traviesa

8.3.1.Corte por chorro de agua

Para esta pieza también se le suministra a la empresa TAMAR SL el CAD con el perfil a cortar. En este caso se le realizará dos vaciados para aliviar peso.

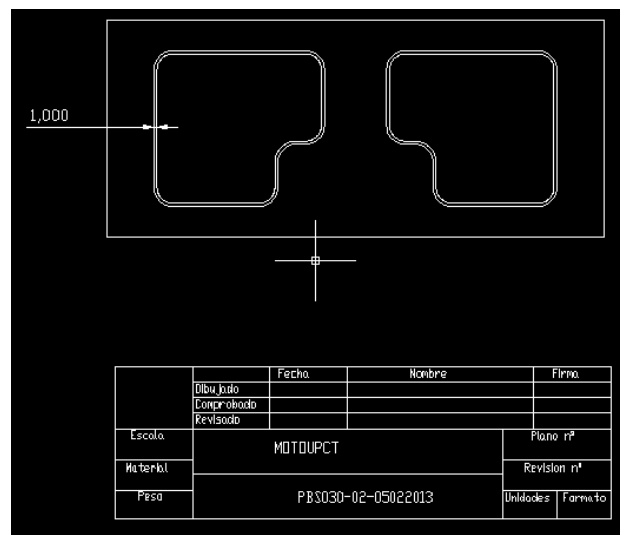


Fig.8. 9. CAD traviesa para corte por chorro de agua

En esta operación de vaciado el corte se realiza a una profundidad de 75 mm, asumiendo de nuevo posibles desviaciones del corte, se procede al corte dejando una equidistancia de 1 mm respecto al diseño original evitando así posibles problemas, ya que es solo un vaciado para aliviar peso.

Con el corte realizado se obtendrá el perfil en planta de la pieza, mostrado en la siguiente imagen:

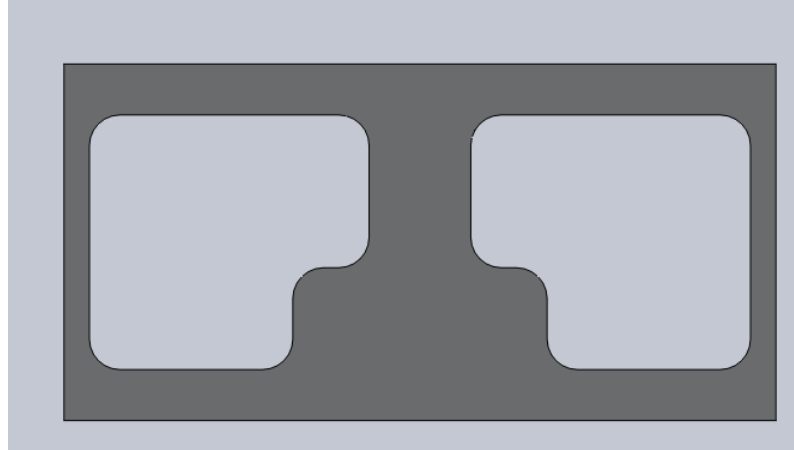


Fig.8. 10. Imagen traviesa posterior corte por chorro de agua

8.3.2.Mecanizado mediante CNC

Al igual que en el caso anterior el mecanizado será llevado a cabo por los alumnos de IES Politécnico de Cartagena.

Una vez realizado el corte por chorro por agua, igual que en la viga se procede su mecanizado. El proceso de mecanizado y los puntos a seguir para su desarrollo son idénticos a los anteriores.

La pieza consta de tres puntos críticos que hay que tener muy en cuenta a la hora de la fabricación, las extrusiones laterales que tienen que ser completamente simétricas para su correcto montaje en los alojamientos de las vigas y la posición del alojamiento del anclaje de la suspensión, el cual lleva en su interior dos agujeros roscados M10. A continuación se muestra en la siguiente imagen los componentes anteriores:

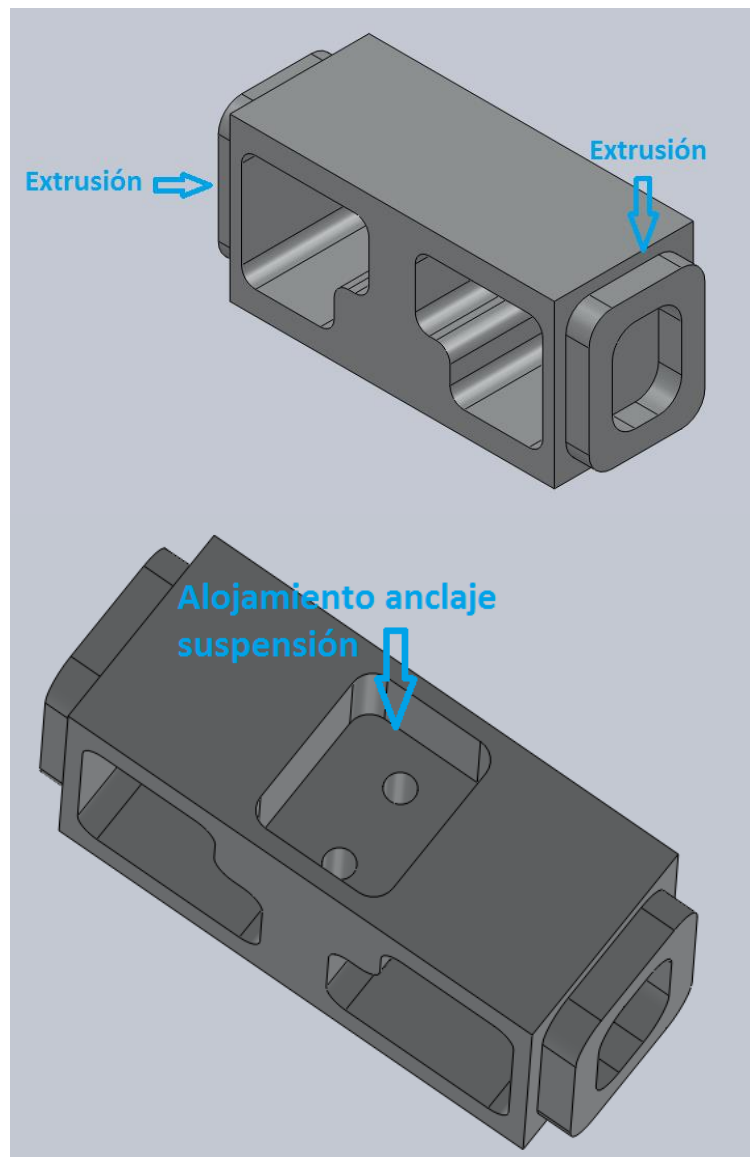


Fig.8. 11. Imagen característica traviesa

8.3.3.Utillaje

Para la fabricación de la traviesa y sus diferentes posturas, son necesarios variados sistemas de utillaje para sujetar las piezas en la mesa de trabajo, ya sea en CNC o en máquina convencional para darle estabilidad y adherencia a la pieza contra la mesa de trabajo.

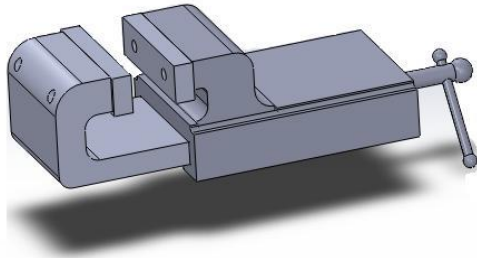
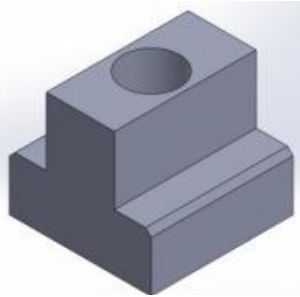
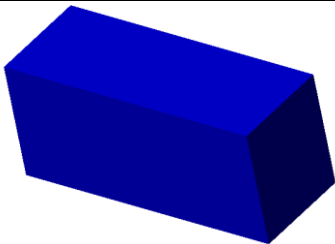
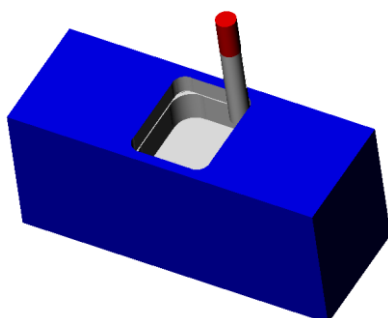
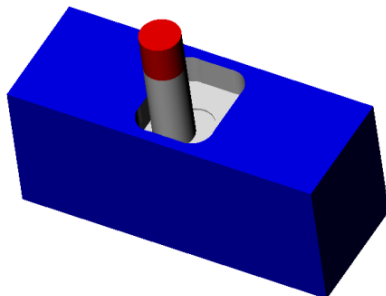
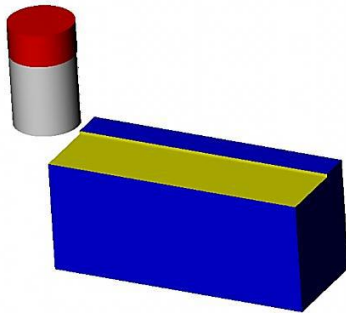
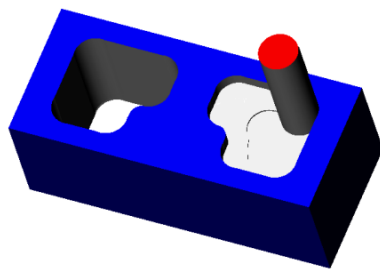
UTILLAJE	FUNCION
	Para la traviesa solo es necesario el uso de la mordaza para el mecanizado de todas las caras
	Todos los utillajes son sujetos a la mesa mediante unas piezas en forma de "T" que se insertan en las ranuras de la mesa y mediante una rosca interior se insertan los espárragos roscados o tornillos para sujetar contra la mesa las piezas.

Tabla 28. Utillaje CNC traviesa

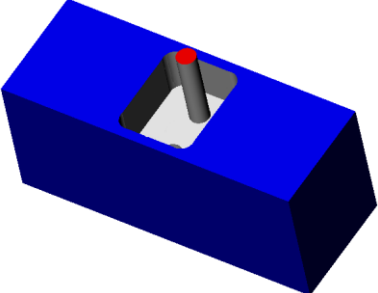

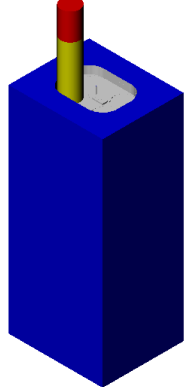

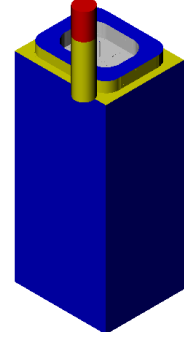

8.3.4.Secuencia de trabajo

A continuación se describe la secuencia de trabajo seguida para el mecanizado de la traviesa:

Secuencia de trabajo			
Pieza	Operación	Herramienta	Condiciones
			Comenzamos a partir de un bruto rectangular de 65x75x170 mm



	Corte por chorro de agua	Las cajas interiores han sido mecanizadas mediante chorro por agua
Planeado de caras	Plato de escuadrar $\varnothing 50\text{mm}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rpm:900 ○ Avance:500mm/min ○ Profundidad de pasada 0.5mm ○ Profundidad del mecanizado: 1mm ○ Tiempo de mecanizado: 30min
Mecanizado de la caja. Desbaste	Fresa cilíndrico frontal $\varnothing 14\text{mm}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rpm: 1000 ○ Avance de entrada: 800mm/min ○ Avance de contorneado: 150mm/min ○ Profundidad de pasada: 2.5mm ○ Profundidad del mecanizado: 25mm ○ Tiempo de mecanizado: 15min.
Mecanizado de la caja. Acabado	Fresa cilíndrico frontal $\varnothing 10\text{mm}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rpm: 1500 ○ Avance de entrada: 800mm/min ○ Avance de contorneado: 150mm/min ○ Profundidad de pasada: 2.5mm ○ Profundidad del mecanizado: 25mm ○ Tiempo de mecanizado: 3 min.

	Taladrado	Broca de 10mm 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rpm: 850 ○ Avance de entrada: 50mm/min ○ Avance de taladrado: 880mm/min ○ Profundidad: 30mm ○ Rompe virutas: 2mm ○ Profundidad del mecanizado: 30mm ○ Tiempo de mecanizado: 5min
	Cajeado lateral interior	Fresa cilíndrico frontal 14mm 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rpm: 1000 ○ Avance de entrada: 800mm/min ○ Avance de contorneado: 150mm/min ○ Profundidad de pasada: 2.5mm ○ Profundidad del mecanizado: 10mm ○ Tiempo de mecanizado: 15min
	Cajeado lateral exterior	Fresa cilíndrico frontal 14mm 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rpm: 1000 ○ Avance de entrada: 800mm/min ○ Avance de contorneado: 150mm/min ○ Profundidad de pasada: 2.5mm ○ Profundidad del mecanizado: 10mm ○ Tiempo de mecanizado: 15min.

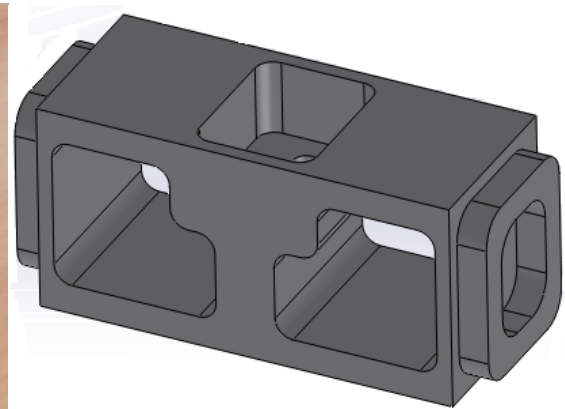
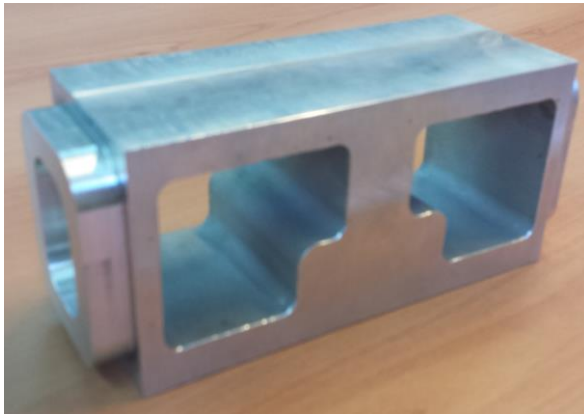


Tabla 29. Secuencia de trabajo CNC traviesa

8.3.5.Data sheet herramientas

Herramienta	Características
	FRESA MULTICORTE
	DIAMETRO 10 COMPLETO V
	CORTE AL CENTRO
	Fresa material HSSe-PM
	MANGO SEGÚN DIN 1835 B
	DIRECCIÓN DE CORTE A DERECHAS
	DIRECCIÓN DE HÉLICE A DERECHAS
	ÁNGULO DE HÉLICE 30°
	PRECIO 71 €/UNIDAD
	FRESA CILINDRICO-FRONTAL DE CUATRO CORTES
	METAL DURO INTEGRAL MICROGRANULADO
	CORTE DERECHO
	INCLINACIÓN DE LA HELICE <25°
	NORMA DIN844N
	PRECIO 160€/UNIDAD

	PLATO DE 5 DIENTES
	D1=50mm
	D=22mm
	D6=43mm
	L=40 mm
	Ap=13mm
	PRECIO 220 €/UNIDAD
	BROCA HSS
	DIÁMETRO 8mm
	SERIE CORTA
	CORTE A DERECHAS DIN338
	PRECIO 9€/UNIDAD

Tabla 30. Herramientas CNC traviesa

8.4. Ensamblado

Fabricados todos los componentes del basculante se está en disposición del ensamblado. La unión se realizará mediante soldadura de tipo TIG mediante arco pulsado para evitar el sobrecalentamiento de la pieza, reduciendo así las pérdidas mecánicas en la ZAT (zona afectada térmicamente). Para esta unión se seguirán una serie de procedimientos y conceptos que engloban a dicha soldadura.

El montaje se realizará en un potro de soldadura diseñado para este tipo de estructuras con el fin evitar posibles deformaciones durante la soldadura producidas por las tensiones derivadas en el proceso del mismo y la comodidad del soldador.

A continuación se describirá el proceso de montaje y unión del basculante, así como la disposición del potro de soldadura y metodología de la soldadura.

8.4.1.Cursograma de fabricación

Para un mejor entendimiento de todo el orden en el proceso de fabricación del basculante, se ha plasmado dicho proceso en un cursograma. En él se reflejan todos los mecanizados de piezas y su posterior ensamblaje mediante soldadura. Todo ello en el orden cronológico en el que se ha realizado.

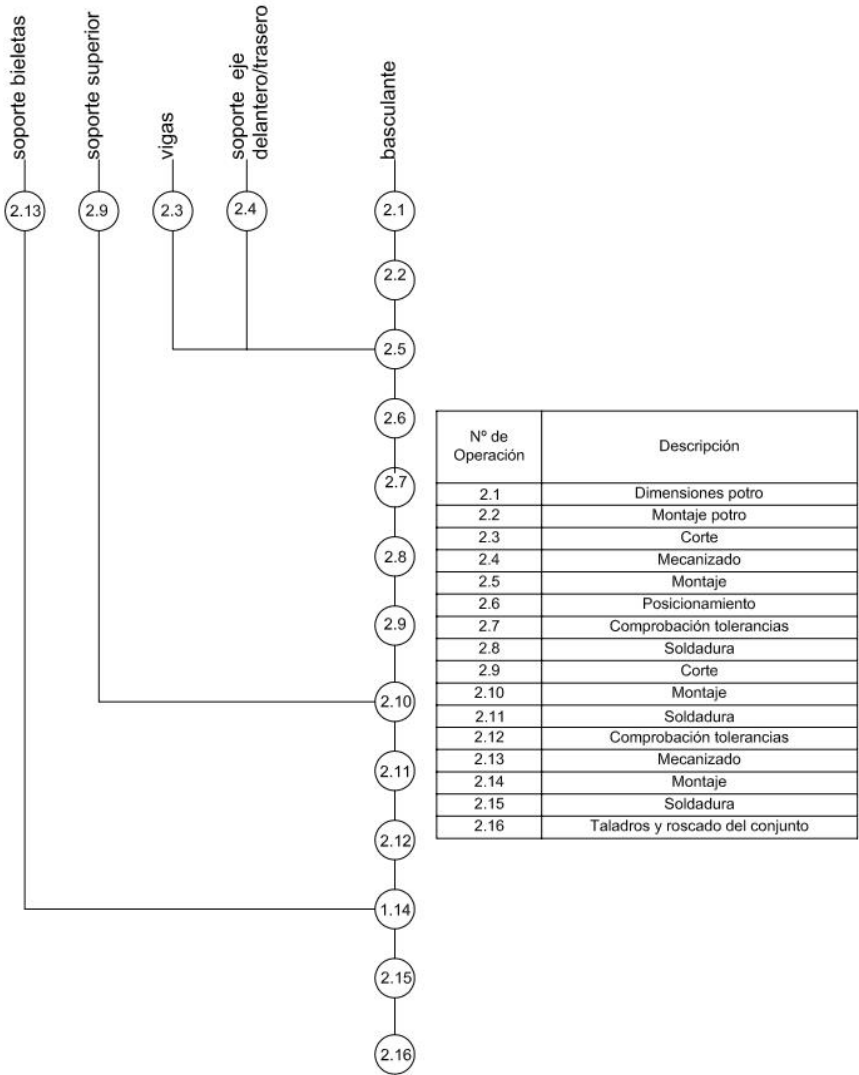


Tabla 31. Cursograma de fabricación y montaje basculante

8.4.2.Potro de soldadura

Para la unión del conjunto se utiliza un potro de soldadura, el cual, facilita el montaje y la soldadura evitando así modificaciones generadas por tensiones al soldar, quedando el basculante perfectamente montado respecto al diseño en CAD.

El potro permite al soldador girar 360 grados el basculante y así colocarlo en la posición optima de soldadura. El conjunto está fabricado en acero estructural, formando una estructura rígida, además de abaratar su coste. A continuación se detalla el montaje y componentes del potro de soldadura para su fabricación:

La base está formada por un perfil de sección hueca cuadrada normalizado de 110x110x5 milímetros y longitud 850 milímetros, con dos ranuras guía donde van colocados los soportes que mantienen el basculante en suspensión. Además cuenta con unos anclajes en la base inferior para fijar el potro en la mesa de trabajo evitando así movimiento alguno.

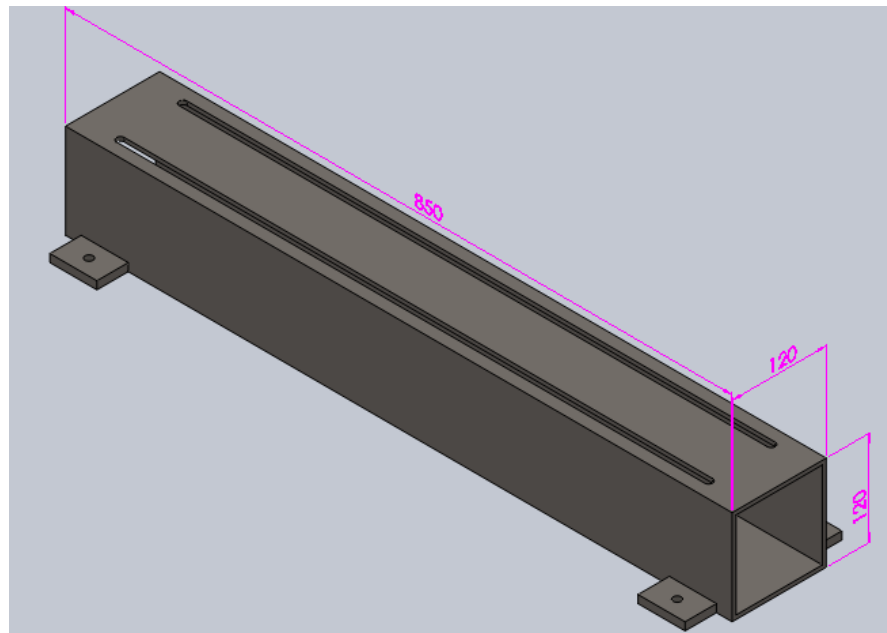


Fig.8. 12. Base Potro de soldadura

Sobre la base superior se montan los soportes que sujetan el basculante. Estos soportes están diseñados para poder girar y fijar de manera segura el basculante para realizar la soldadura.

El soporte delantero sujeta el eje de pivotamiento del basculante a través de unos agujeros por los cuales se pasa un perno para sujetarlo. Este soporte sirve de guía y su función es la de sujetar el basculante por la parte delantera con seguridad y firmeza. El árbol que da el grado de libertad que permite el giro va asentado sobre rodamientos de aguja macizos, aportando suavidad al giro.

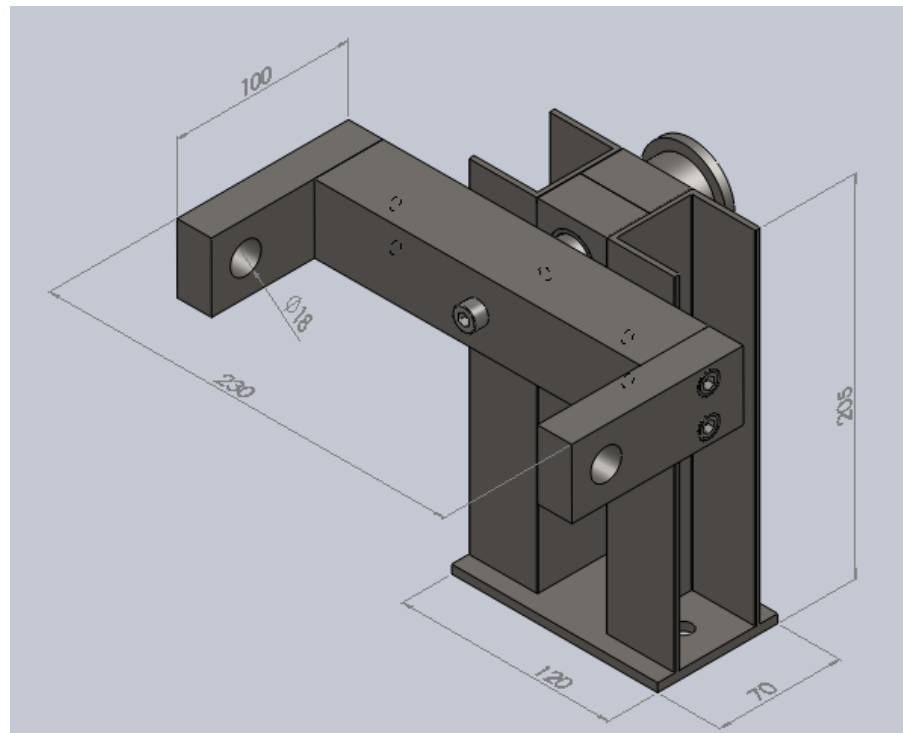


Fig.8. 13. Soporte delantero potro de soldadura

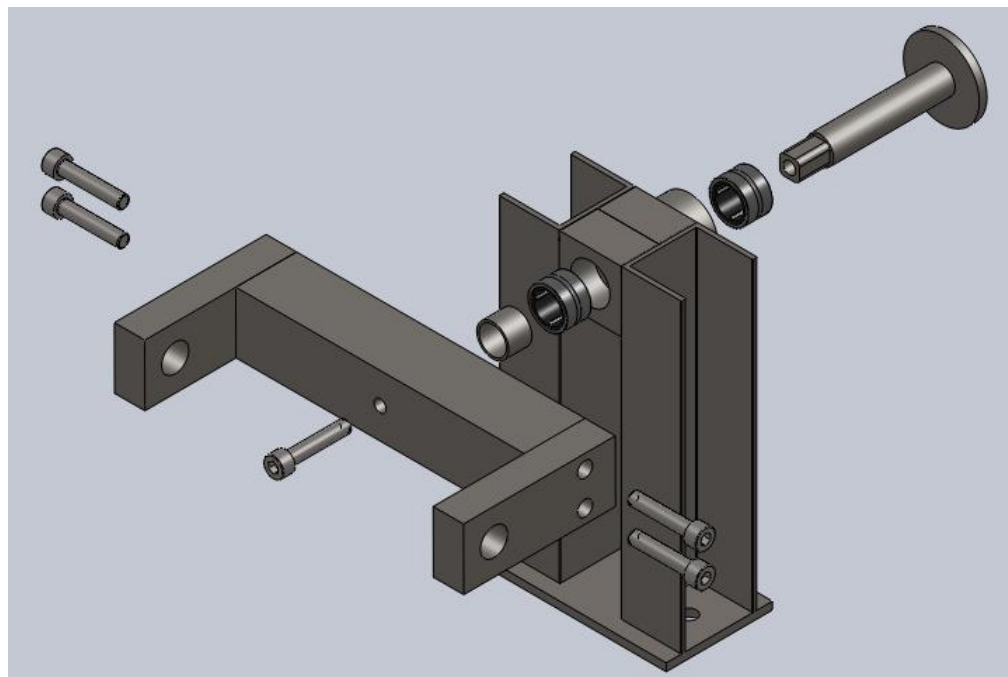


Fig.8. 14. Explosionado soporte delantero potro de soldadura

El soporte trasero sujeta el eje donde va colocada la rueda trasera a través de dos orificios roscados de métrica 15, donde se roscan dos tornillos para su completa fijación. Este soporte sirve como elemento fijador de posición del basculante, permite posiciones de 0, 90, 180 y 270 grados, aunque se le pueden añadir posiciones de fijación haciendo agujeros sobre el volante fijador. El árbol que permite el giro al igual que el soporte delantero va asentado sobre dos rodamientos de aguja. Para la fijación del sistema se utiliza un pasador autoblocante.

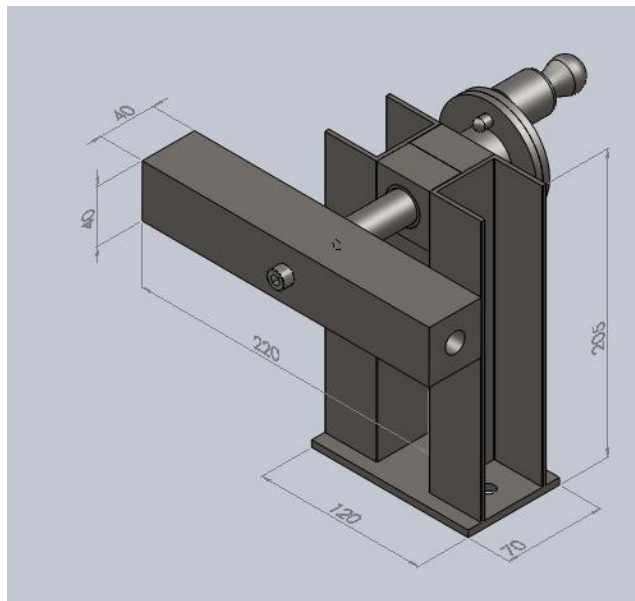


Fig.8. 15. Soporte trasero potro de soldadura

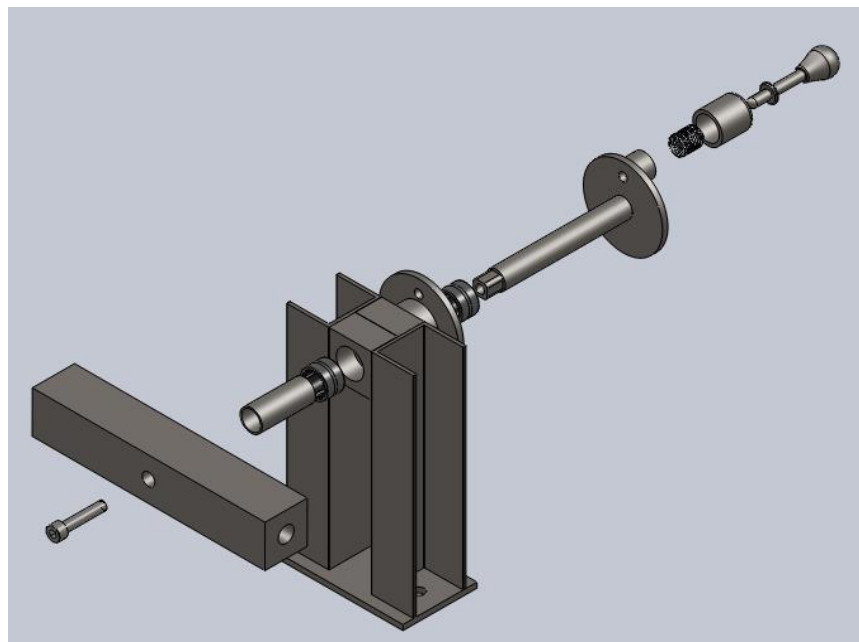


Fig.8. 16. Explosionado soporte trasero potro de soldadura

Estos tres componentes forman el conjunto del potro donde va montado el basculante para su soldadura. Los dos soportes guía van sujetos a la base con tornillos de métrica 8 a través de las ranuras, como se muestra en la siguiente figura:

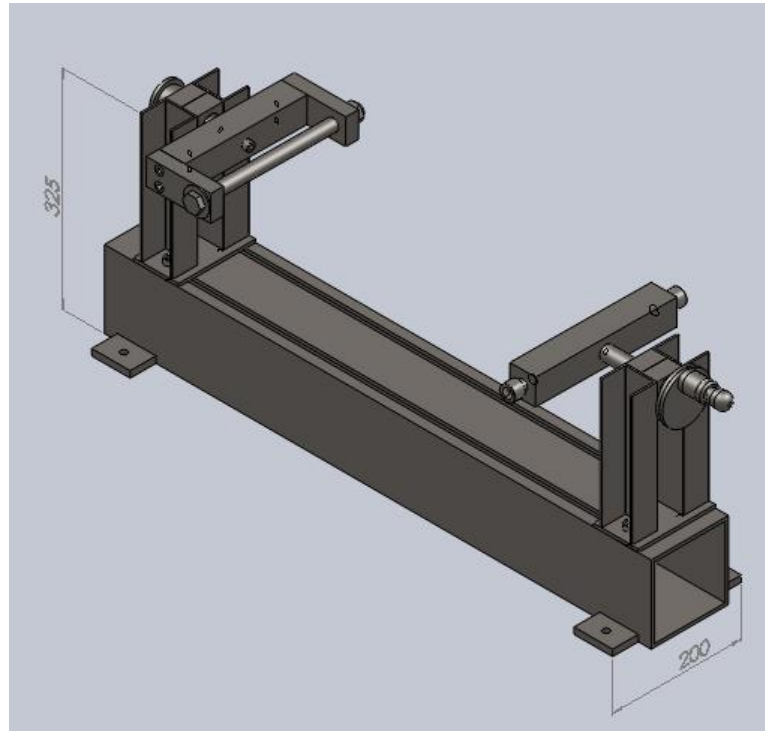


Fig.8. 17. Potro de soldadura

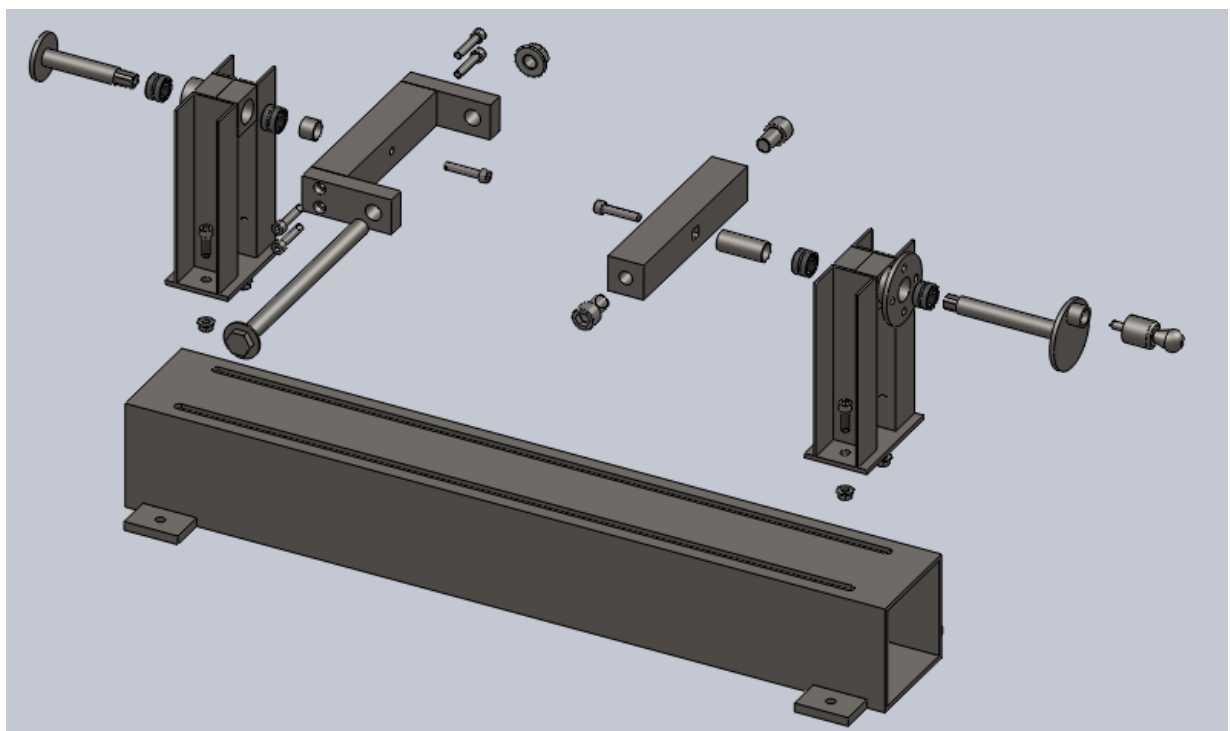


Fig.8. 18. Explosionado potro de soldadura

El conjunto con el basculante montado queda de la siguiente manera:

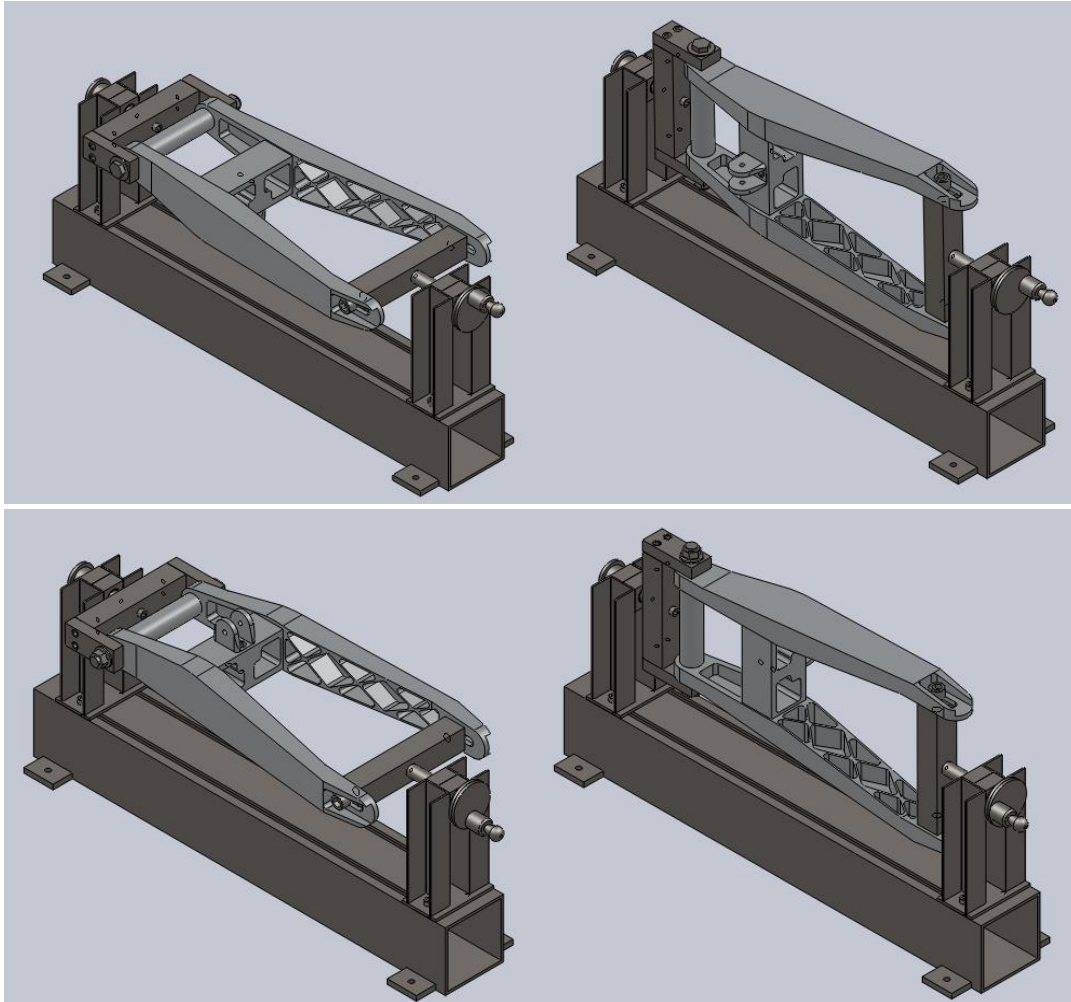


Fig.8. 19. Posiciones de soldeo potro de soldadura

8.4.3.Soldadura del conjunto

El basculante está diseñado para que contenga las menores soldaduras posibles, teniendo que realizar únicamente la unión de la traviesa con ambas vigas y el tubo de rigidez torsional, evitando así problemas derivados de la soldadura en puntos críticos. La posición de soldadura para todos los cordones es de tipo plana, ya que es la más barata y fácil. Para evitar grandes tensiones en los cordones de soldadura todas las uniones van encajadas como se muestra en la Fig.8.20:

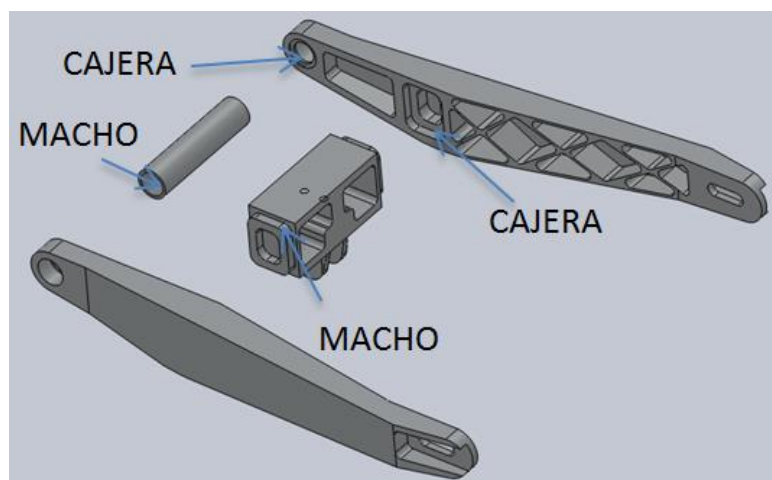


Fig.8. 20. Zonas de soldadura del basculante

Una vez montado el conjunto en el potro de soldadura, se puede comenzar la soldadura. La soldadura a utilizar es de tipo TIG de corriente alterna mediante arco pulsado evitando así posibles sobrecalentamientos en la pieza. Los valores límite de espesor de garganta se tomarán de la Tabla 33:

Espesor de la pieza (mm)	Garganta a (mm)		Espesor de la pieza (mm)	Garganta a (mm)	
	Máxima	Mínima		Máxima	Mínima
4,0-4,2	2,5	2,5	13,5-14,1	9,5	5,0
4,3-4,9	3,0	2,5	14,2-15,5	10,0	5,0
5,0-5,6	3,5	2,5	15,6-16,9	11,0	5,5
5,7-6,3	4,0	2,5	17,0-18,3	12,0	5,5
6,4-7,0	4,5	2,5	18,4-19,7	13,0	6,0
7,1-7,7	5,0	3,0	19,8-21,2	14,0	6,0
7,8-8,4	5,5	3,0	21,3-22,6	15,0	6,5
8,5-9,1	6,0	3,5	22,7-24,0	16,0	6,5
9,2-9,9	6,5	3,5	24,1-25,4	17,0	7,0
10,0-10,6	7,0	4,0	25,5-26,8	18,0	7,0
10,7-11,3	7,5	4,0	26,9-28,2	19,0	7,5
11,4-12,0	8,0	4,0	28,3-31,1	20,0	7,5
12,1-12,7	8,5	4,5	31,2-33,9	22,0	8,0
12,8-13,4	9,0	4,5	34,0-36,0	24,0	8,0

Tabla 32. Valores límite de garganta

La primera soldadura que se realiza es la unión del tubo de rigidez torsional con las vigas. Esta soldadura se realiza sin preparación de bordes y sabiendo que el espesor mínimo de pared es de 4 mm, el espesor mínimo de garganta es de 2.5 mm. La posición de soldeo es en plano. La soldadura a realizar es de en ángulo con cordón plano, la simbología es la siguiente:



Fig.8. 21. Simbología soldadura en ángulo con cordón plano

La segunda soldadura a realizar es la unión de la traviesa con las vigas. Para esta soldadura se realiza una preparación de bordes en V como se muestra en la imagen para la correcta penetración del cordón de soldadura. El espesor mínimo de pieza es de 5mm y atendiendo a la tabla de valores límite de garganta se obtiene un valor mínimo de 2.5mm y máximo de 3.5mm, en este caso se elige un valor de espesor de garganta de 3mm. La posición de soldeo es en plano y la soldadura es en ángulo con cordón plano.

Una vez soldado todo el conjunto las soldaduras deben quedar tal que así:

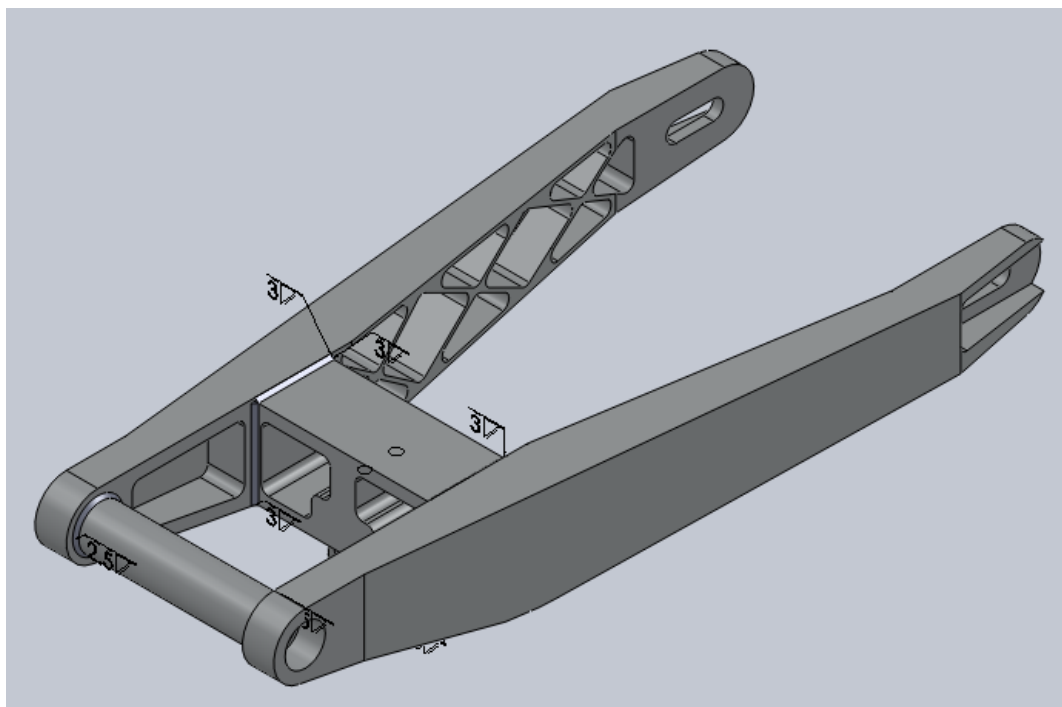


Fig.8. 22. Soldadura basculante

En resumen las características de la soldadura quedan de la siguiente manera:

Zona	Posición	Tipo	Espesor de garganta (a) (mm)	Longitud cordón (L)(mm)
Tubo-Viga derecha	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	2.5	109.95
Tubo-Viga izquierda	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	2.5	109.95
Travesía-viga derecha inferior	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	60
Travesía-viga derecha superior	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	60
Travesía-Viga derecha lateral 1	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	70
Travesía-Viga derecha lateral 2	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	70
Travesía-Viga izquierda inferior	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	60
Travesía-Viga izquierda superior	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	60
Travesía-Viga izquierda lateral1	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	70
Travesía-Viga izquierda lateral2	Plano	En ángulo sin preparación de bordes	3	70

Tabla 33. Características soldadura

8.5. Ensamblaje basculante-suspensión trasera

Tras realizar el estudio de suspensión trasera y el proceso de diseño y optimización estructural del basculante, se obtiene el diseño definitivo. Este diseño obtenido es fruto de todas las especificaciones, parámetros y características descritas en los capítulos anteriores. En la Fig.8.23 se puede observar la forma definitiva del ensamblaje entre el basculante y sistema de suspensión.

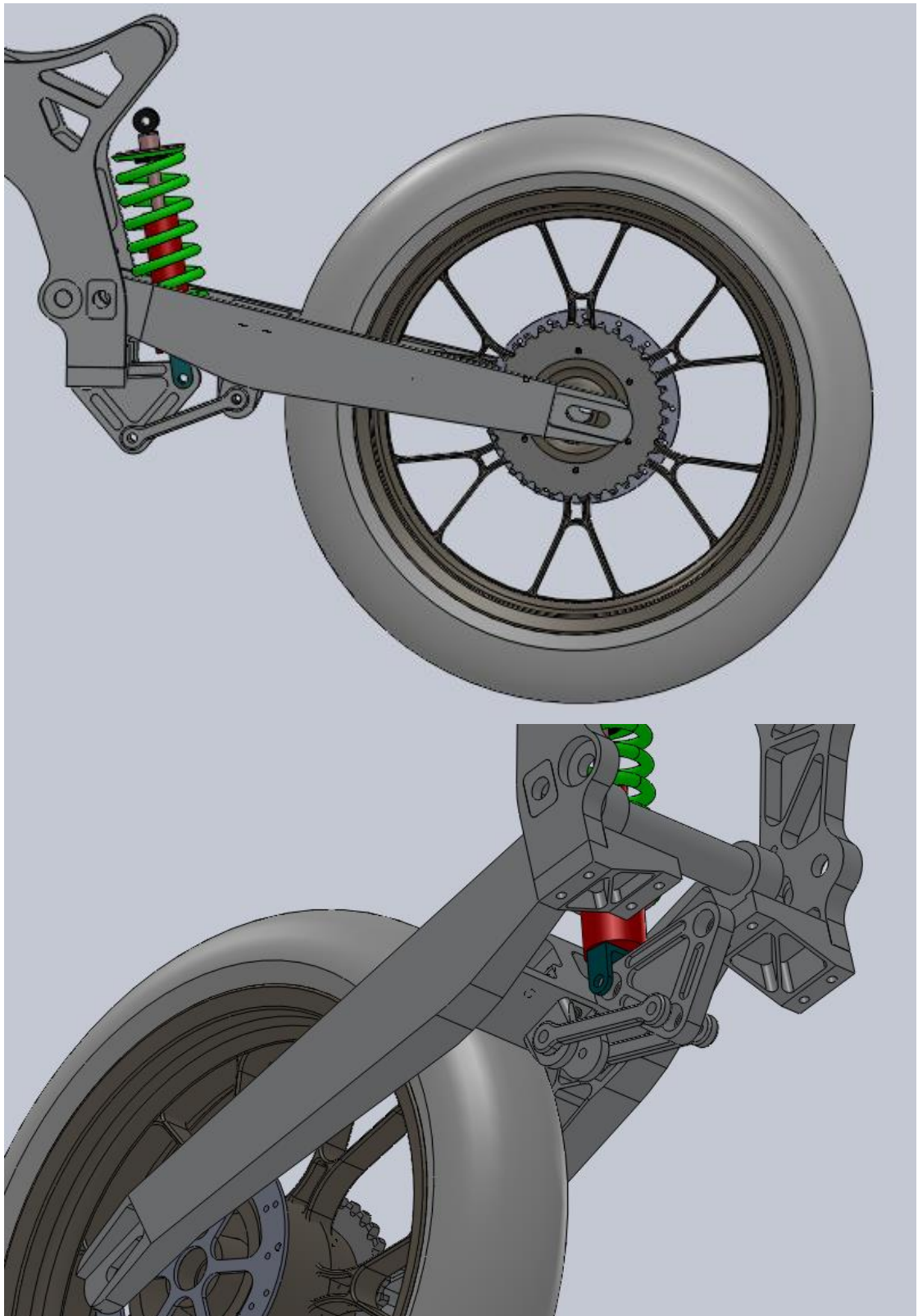


Fig.8. 23. Ensamblaje basculante-sistema de suspensión

9.CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE MMC

9.1. Introducción MMC

La Máquina de Medición por Coordenadas (MMC) puede ser definida como “una máquina que emplea tres componentes móviles que se trasladan a lo largo de guías con recorridos ortogonales, para medir una pieza por determinación de las coordenadas X, Y, Z de los puntos de la misma con un palpador de contacto o sin él y el sistema de medición del desplazamiento, que se encuentran en cada uno de los ejes”. Como las mediciones están representadas en el sistema tridimensional, la MMC puede efectuar diferentes tipos de medición como: dimensional, posicional, desviaciones geométricas y mediciones de contorno.

Los procedimientos de medición y procesamiento de datos de las MMC, poseen una serie de características que se describen a continuación:

Primeramente se tiene un sistema de posicionamiento que provoca que el palpador alcance cualquier posición en X, Y o Z, este sistema de posicionamiento es accionado a través de unos motores, que a su vez, poseen unos codificadores ópticos rotatorios, los que producirán una señal adecuada para activar un contador que permite incrementar su número en relación a la posición del eje con respecto de su origen.

En este sistema como en otros es de primordial importancia la existencia de un origen para poder determinar la posición.

El sistema dispondrá además de un palpador que al ser accionado, hará que los datos del contador del sistema de posicionamiento sean trabajados por la unidad principal de la MMC y sean transformados en coordenadas X, Y y Z y además se apliquen las fórmulas programadas para después desplegar los datos en una pantalla de cristal líquido.

El sistema también posee una palanca de control que permite accionar directamente los servomotores provocando un desplazamiento manual de cada uno de los ejes.

Los softwares comerciales de MMC manejan los elementos regulares como son el punto, línea, plano, círculo, cilindro y cono.

Las MMC se utilizan para las siguientes aplicaciones:

- Control de la correspondencia entre un objeto físico con sus especificaciones teóricas (expresadas en un dibujo o en un modelo matemático) en términos de dimensiones, forma, posición y actitud.
- Definición de características geométricas dimensionales (dimensiones, forma, posición y actitud) de un objeto, por ejemplo un molde cuyas características teóricas son desconocidas.

Los costes asociados a una máquina de medir por coordenadas van generalmente más allá de la propia máquina. La ubicación de la misma y las condiciones de su entorno deben cumplir diversos requisitos para que los resultados de la medición sean fiables.

Una MMC puede ser instalada en distintos ambientes de trabajo, que en mayor o menor medida estarán bajo la influencia de los siguientes factores externos:

- Suciedad. Deben estar colocados en ambientes limpios.
- Temperatura. Controlar siempre la temperatura del lugar de trabajo, procurando que la temperatura de trabajo sea constante.
- Vibraciones.

9.2. Verificación de componentes fabricados

En este capítulo se procede a la verificación de las piezas fabricadas mediante CNC, tomando mediciones en los puntos donde se necesitan unas tolerancias de fabricación óptimas para su posterior montaje.

Para ello se utiliza una máquina DEA Pionner de medición por coordenadas MMC con control PCDMIS, con el cual se toman los puntos de medición a través de una sonda.



Fig.9. 1. Máquina de Medición por Coordenadas DEA Pioneer

La pieza a comprobar se trata de la traviesa, a continuación se exponen los puntos a medir:

- Distancia entre caras de acoplamiento
- Paralelismo entre caras de acoplamiento
- Dimensiones y centrado de cajera para acoplamiento suspensión

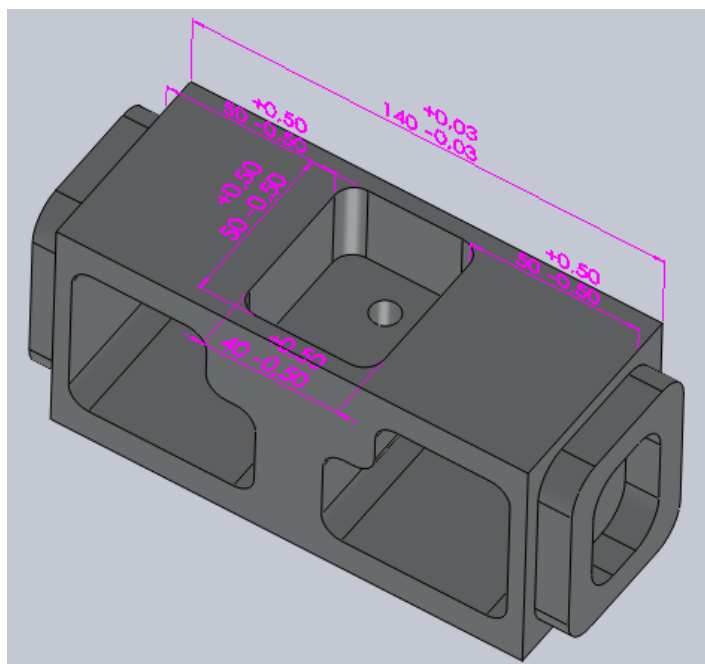


Fig.9. 2. Cotas y tolerancias de fabricación. Traviesa

9.3. Procedimiento de medición

Primeramente, para empezar con la medición se abre el programa PCDMIS en modo “Online” y se selecciona la sonda puesta en la máquina, a continuación se enciende la MMC observando que el botón “Machine” del mando de control se encuentre en verde, esto quiere decir que la MMC y el control están conectados entre sí. Una vez realizado esto la máquina busca el “Cero Máquina”.

Una vez realizado el procedimiento de encendido y conexión, se abre un “Archivo/Nuevo” en el menú, donde se introducen los datos iniciales de la pieza (Nombre, revisión y num. De serie).

El siguiente paso es elegir la sonda con la que medir y calibrarla. Para ello en el menú “Medir” en modo DCC+DCC y calibrar. Se calibra en modo manual, tocando con la sonda la esfera de calibración colocada en la mesa de trabajo y dar a continuar, el palpador a continuación debe calibrarse automáticamente, tomado puntos sobre la esfera de calibración.

Terminada la calibración, la siguiente acción es alinear la pieza física, es decir, buscar el origen pieza, para ello se procede a colocar la pieza sobre la mesa de trabajo, sujetándola para que no se mueva, como se muestra en la Fig.9.3 .



Fig.9. 3. Colocación pieza en mesa de trabajo

Una vez colocada la pieza, se activa el “Modo Programación”, para crear el origen pieza hay que crear un plano, una línea, y un punto sobre tres planos distintos de la pieza tal y como se muestra en la Fig.9.4.

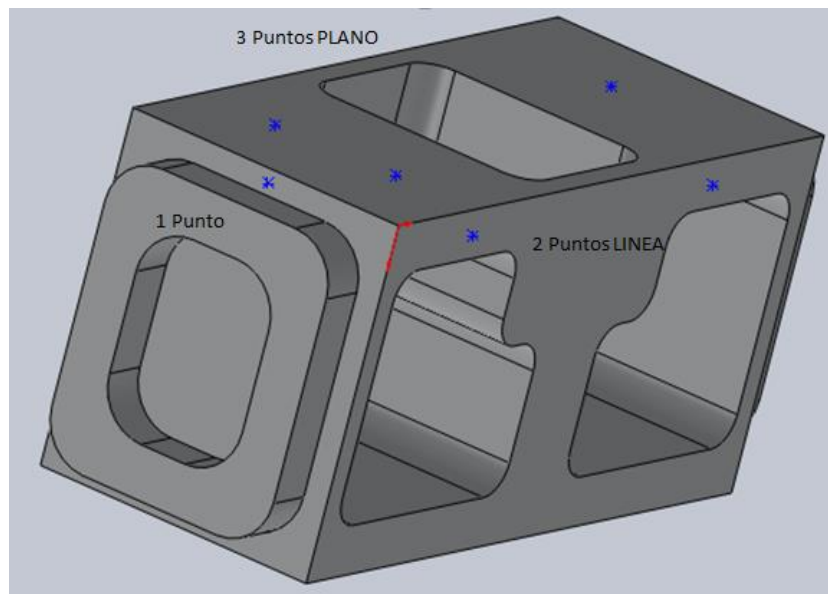


Fig.9. 4. Puntos de contacto para creación de origen local. Travesa

Se toman 3 puntos sobre un plano de la pieza y se pulsa el botón del mando de control "DONE", esta acción crea un plano "PLN1" en la pantalla de programación, se realiza la misma acción para crear la línea "LIN1" y el punto "PNT1", pulsando para cada una de ellas el botón "DONE".

Creados el plano, la línea y el punto, hay que alinearlos. Para ello en el menú "INSERTAR/ALINEACIÓN/NUOVO (CTRL+ALT+A)", una vez dentro se realiza la siguiente secuencia para la alineación:

- PLN1 Z+ X AUTOMÁTICO NIVELAR
 - PLN1 X "Z" ORIGEN
- LIN1 ROTAR A X+ ALREDEDOR DE Z+ ROTAR
 - LIN1 X "Y" ORIGEN
- PTN1 X "X" ORIGEN
- ACEPTAR y la alineación se ha creado "A1".

Con esta acción lo que se quiere conseguir es que el PLN1 este sea perpendicular al eje Z y que su origen sea coincidente con PN1, que LIN1 sea paralelo al eje Y y su origen sea coincidente con LIN1 y PNT1 sea coincidente con el origen.

El siguiente paso es la importación del CAD. Para ello en el menú “ARCHIVO/IMPORTAR IGES”, procesar archivo y aceptar. Una vez realizada la importación hay que alinear los ejes del CAD con el origen de pieza física. Para ello se crea una alineación nueva y se realiza la misma operación que la realizada para crear la alineación “A2” una vez alineados los ejes de coordenadas, se pulsa CAD=PIEZA igualando las condiciones de origen de la pieza física con la de la pieza, obteniendo así el mismo origen de coordenadas de la pieza física y CAD.

Una vez realizados estos pasos ya están todos los pasos realizados para empezar a medir sobre la pieza. Antes de comenzar se debe de crear un plano de seguridad para ello en menú “EDICION/PREFERENCIAS/PARÁMETROS”, se obtiene un plano en Z+ a 50mm. Este plano sirve para que la sonda cada vez que realice un punto de contacto vaya hasta el plano de seguridad.

A continuación se realiza la “1ª Medición”, de tipo distancia. Para medir una distancia se crean dos líneas sobre las caras a medir como se muestra en la Fig.9.5, estas dos líneas se crean en la barra de herramientas morada.

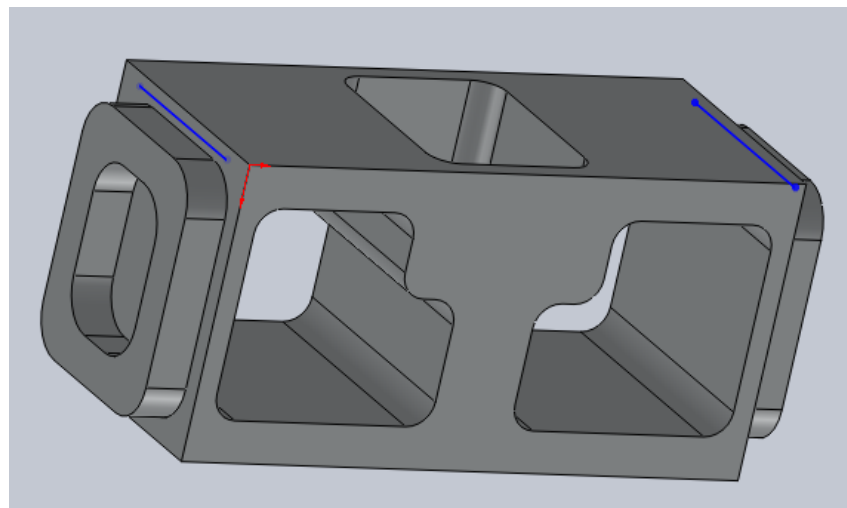


Fig.9. 5. Medición distancia sobre traviesa

Para medir la distancia se utiliza la barra de herramientas roja, donde se selecciona el icono de distancia. En la ventana que aparece se selecciona la LIN2 y LIN3 que son las creadas anteriormente, se introduce la tolerancia de fabricación y los parámetros a medir.

Para las siguientes mediciones se realizan los mismos pasos eligiendo paralelismo entre caras, medir cajera, etc.

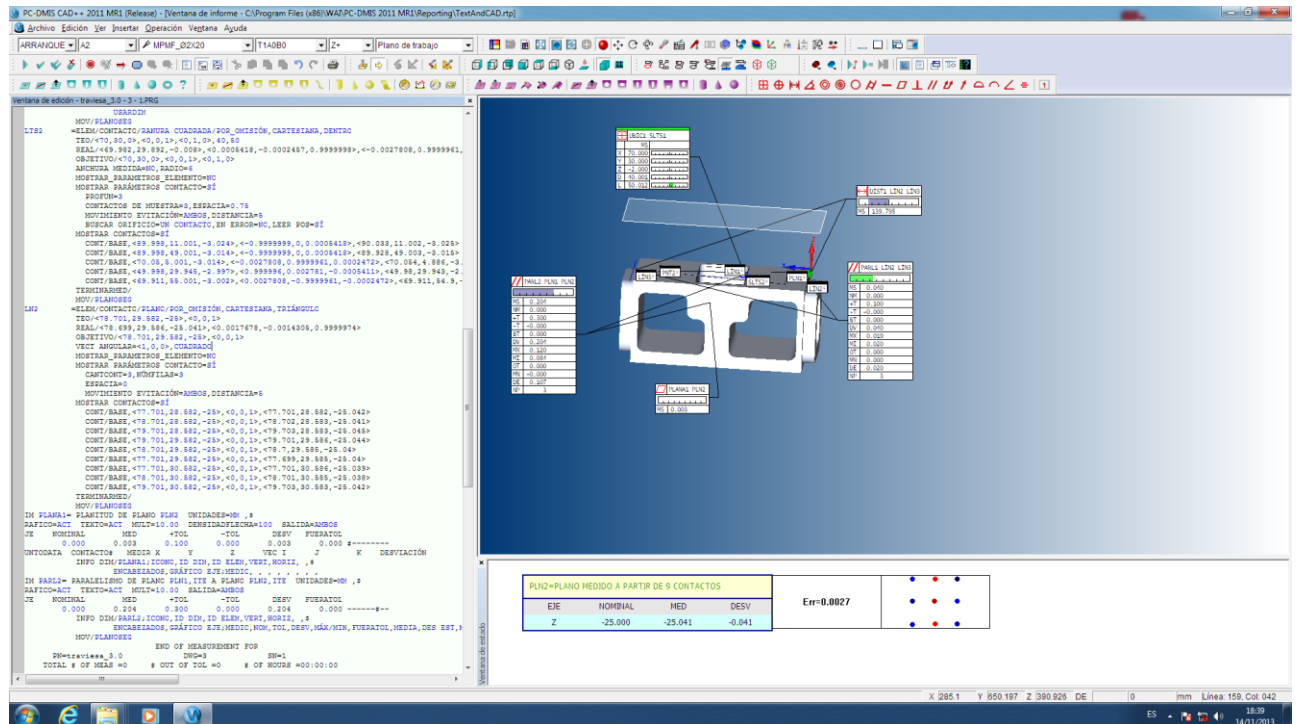


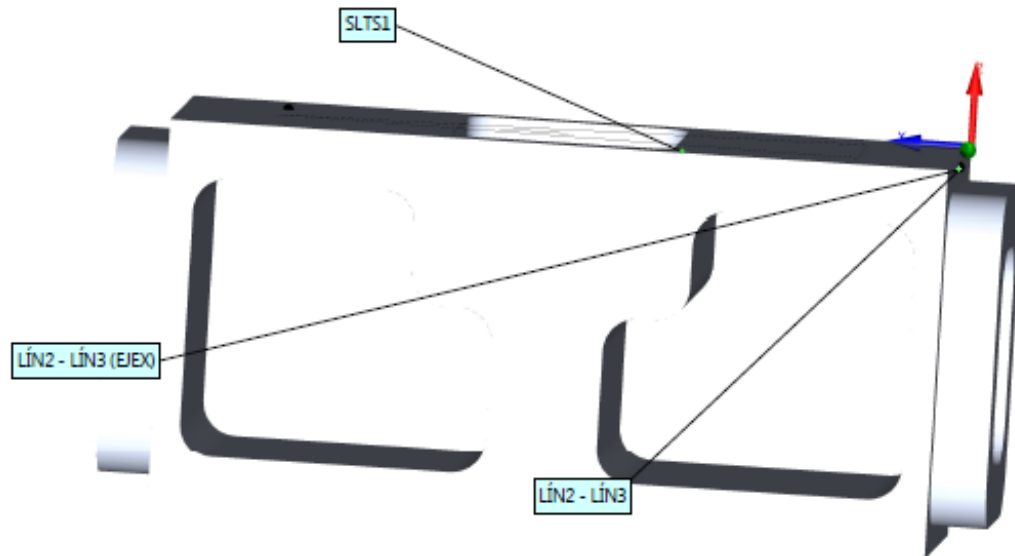
Fig.9. 6. Interfaz de trabajo PCDMS. Traviesa

Una vez realizadas las mediciones se genera el Informe, dónde nos saldrán todos los parámetros medidos y "si cumple o no cumple" las especificaciones de tolerancia impuestas.

9.4. Informe Traviesa

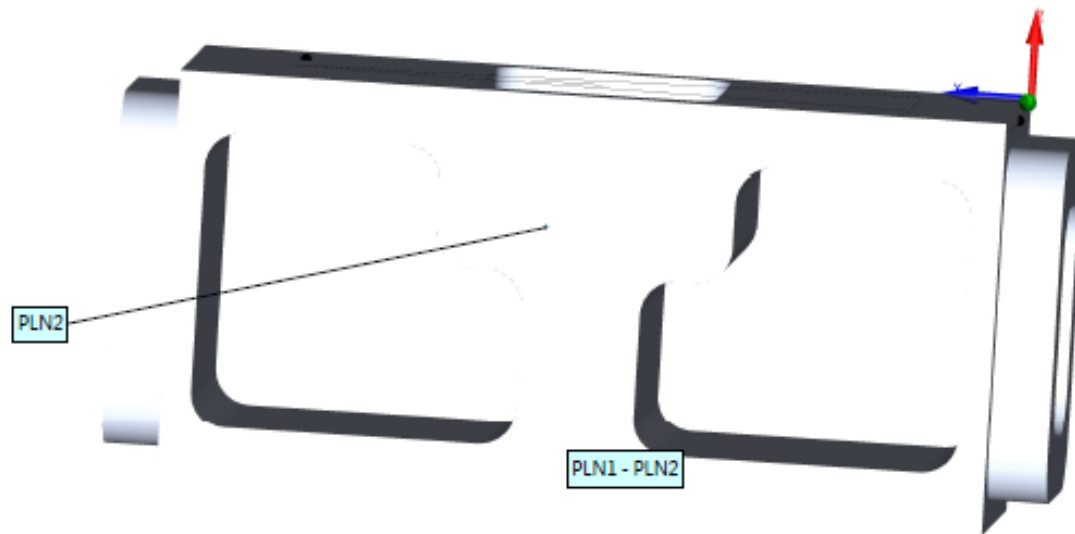
Las mediciones realizadas en la traviesa son:

- Distancia LIN2-LIN3
- Paralelismo LIN2-LIN3
- Ubicación SLTS1
- Planitud PLN2
- Paralelismo PLN1-PLN2



pcodmis		NOMBRE DE PIEZA : traviesa_3.0				noviembre 14, 2013		18:34		
		NUMERO DE REV : 3			NUMERO DE SERIE : 1			CUENTA DE ESTADOS : 1		
↔		MM	DIST1 - LÍN2 A LÍN3 (EJEX)							
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL				
M	140.000	139.795	0.300	-0.300	-0.205	0.000				
ELEMENTO	CONTS	MED X	Y	Z	VECTOR I	J	K	DESV		
LÍN2	0	-0.003	29.961	-2.000	-0.001	1.000	0.000	139.795		
//		MM	PARL1 - LÍN2 A LÍN3							
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL				
M	0	0.040	0.100	0	0.040	0.000				
ELEMENTO	CONTS	MED X	Y	Z	VECTOR I	J	K	DESV		
LÍN2	1	0.011	8.490	-2.001	-1.000	0.000	0.000	0.019 MÁX		
	2	-0.004	29.961	-2.002	-1.000	0.000	0.000	0.001		
	3	-0.017	51.432	-2.002	-1.000	0.000	0.000	-0.020 MÍN		
#		MM	UBIC1 - SLTS1							
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL				
X	70.000	70.000	0.050	-0.050	0.000	0.000				
Y	30.000	30.000	0.050	-0.050	0.000	0.000				
Z	-2.000	-2.000	0.050	-0.050	0.000	0.000				
D	40.000	40.001	0.050	-0.050	0.001	0.000				
L	50.000	50.012	0.050	-0.050	0.012	0.000				

Tabla 34. Informe medición traviesa pag. 1




	MM	PLANA1 - PLN2						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	0.000	0.003	0.100	0.000	0.003	0.000		
ELEMENTO	CONTS	MED X	Y	Z	VECTOR I	J	K	DESV
PLN2	1	77.701	28.582	-25.042	-0.000	0.000	1.000	-0.001
	2	78.702	28.583	-25.041	-0.000	0.000	1.000	0.002 MÁX
	3	79.703	28.583	-25.045	-0.000	0.000	1.000	-0.001
	4	79.701	29.586	-25.044	-0.000	0.000	1.000	-0.001 MÍN
	5	78.700	29.585	-25.040	-0.000	0.000	1.000	0.001
	6	77.699	29.585	-25.040	-0.000	0.000	1.000	-0.001
	7	77.701	30.586	-25.039	-0.000	0.000	1.000	-0.001
	8	78.701	30.585	-25.038	-0.000	0.000	1.000	0.001
	9	79.703	30.583	-25.042	-0.000	0.000	1.000	-0.000
//	MM	PARL2 - PLN1 A PLN2						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	0	0.204	0.300	0	0.204	0.000		
ELEMENTO	CONTS	MED X	Y	Z	VECTOR I	J	K	DESV
PLN1	1	17.788	12.610	0.000	0.000	-0.004	1.000	-0.036
	2	17.297	45.292	-0.000	-0.000	0.000	1.000	-0.084 MÍN
	3	122.644	32.732	-0.000	-0.000	0.000	1.000	0.120 MÁX

Tabla 35. Informe medición travesía pag. 2

9.4.1.Conclusión

Una vez estudiados los datos obtenidos del informe se observa que todas las mediciones realizadas están dentro de las tolerancias impuestas, dando como "ACEPTADA" la pieza fabricada.

10. PRESUPUESTO

Este presupuesto constará de tres partes a tener muy en cuenta para valorar el coste total del basculante, el coste de los materiales y componentes, de fabricación y soldadura. Así por tanto se dividirá el presupuesto en tres grandes boques:

- Presupuesto de los componentes
- Presupuesto de fabricación
- Presupuesto de soldadura

10.1. Presupuesto de los componentes

El material utilizado para la fabricación y los componentes tales como rodamientos y tornillería han sido comprados realmente.

Por tanto, primeramente se deberá observar qué cantidad de esta materia prima será utilizada para la fabricación del basculante. Esta operación resultará sencilla si se observa el [Capítulo 8. "Fabricación y ensamblado del conjunto"](#).

Realizando este cálculo se obtienen las dimensiones necesarias para la fabricación, es decir, el tocho de materia prima necesario para el mecanizado.

COMPONENTE	CANTIDAD	MATERIAL	TIPO	DIMENSIONES (MM)	PRECIO (EUROS)
Viga derecha	2	Aluminio 6082-T6	Pletina	610x100x90	2x75
Traviesa	1	Aluminio 6082-T6	Pletina	160x70x60	12
Tubo rigidez torsional	1	Aluminio 6082-T6	Tubo hueco	144x35x3.5	3
Rodamientos	2	-	Aguja INA-FAG hk25		2x24
Tornillería	2	Acero	Cabeza hueca hexagonal	M10	2x1.20
TOTAL					215.4

Tabla 36. Presupuesto material y componentes

10.2. Presupuesto fabricación

En este apartado se incluye la fabricación de las piezas completas para su posterior ensamblado, donde se incluyen coste de herramientas y utillaje utilizados, así como el estudio previo mediante CAM y la fabricación de las piezas mediante CNC.

HERRAMIENTAS	COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO (EUROS)
	FRESA MULTICORTE D10	1	71
	FRESA CILINDRICO-FRONTAL DE CUATRO CORTES D25	1	160
	PLATO DE 5 DIENTES D40	1	220
	BROCA HSS D8	1	9
UTILLAJE	Calzos rectificadores	2	2x50
	Cabezal mandrinador	1	418
	Mordaza hidráulica	1	347
MECANIZADO	Estudio CAM	*7.5 horas	262.5
	Máquina Fresadora CNC Holque	*4.5 horas	157.5
	Máquina Corte por chorro de agua	**2.5 horas	250
TOTAL			1995

Tabla 37. Presupuesto fabricación

*Coste por tiempo 35€/hora

**Coste por tiempo 100€/hora

10.3. Presupuesto soldadura

Dentro de este apartado se incluye el coste del material de aportación necesario y la mano de obra, variando ésta en función de la cantidad de cordón de soldadura necesario.

Es por ello que se deberá especificar primeramente la longitud de cordón de soldadura que será necesario, con el fin de poder determinar tanto la cantidad de material de aporte necesario como el coste de la mano de obra.

Como se especifica en el apartado “8.4.3. Soldadura del conjunto” la soldadura se aplica en cuatro zonas, todas estas soldaduras son en ángulo y en posición plana con preparación de bordes.

La ecuación que se utiliza para obtener el valor de la mano de obra, en “Euros por metro lineal” es la siguiente:

$$\frac{\text{Pmd (kg/ml)} \times \text{Valor M.O. y G.G. (\$/hr)}}{\text{Velocidad deposición (kg/hr)} \times \text{F. operación (\%)}}$$

Dónde:

- Pmd: Peso de metal depositado. Cantidad de metal de aporte necesario para completar una unión soldada. Relación para determinar el peso de metal depositado. Se seleccionará en función de la tabla adjunta.

$\text{Pmd} = \text{Área seccional} \times \text{longitud} \times \text{densidad aporte.}$


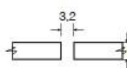
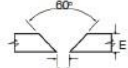
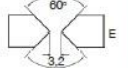
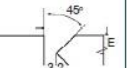
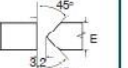
Unión de soldadura						
Espesor (E) mm	METAL DEPOSITADO (kg/ml)					
3,2	0,045	0,098				
6,4	0,177	0,190	0,380		0,358	
9,5	0,396		0,638		0,605	
12,5	0,708		1,168		1,066	
16	1,103		1,731		1,707	1,089
19	1,592		2,380	1,049	2,130	1,449
25	2,839		3,987	2,578	3,554	2,322
32				3,768		3,380
37,5				5,193		4,648
51				8,680		7,736
63,5				13,674		11,617
76				18,432		16,253

Tabla 38. Metal depositado. Relación espesor/unión de soldadura

- Valor de Mano de Obra y Gastos Generales. Se tratará del costo unitario (€/hora) de la mano de obra y los gastos generales que conllevará la operación de soldadura. Este factor depende exclusivamente de la empresa responsable de la soldadura, la cual ha fijado el costo en 45 €/hora.

- Velocidad de deposición. Cantidad de material de aporte depositado en una unidad de tiempo. Su determinación es complicada ya que dicha velocidad depende también de la corriente (A) de soldadura. Es por ello que, al realizarse a 220V, se estima en 2.5 kg/h.

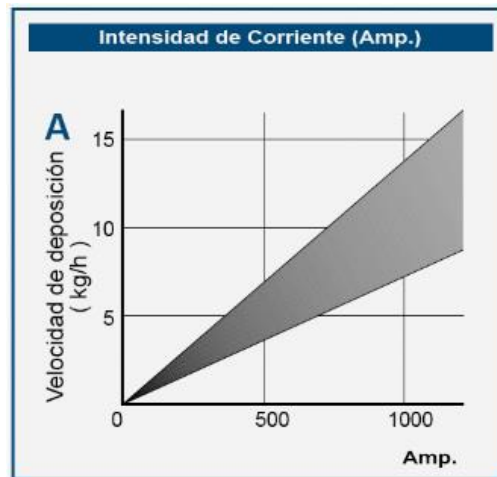


Fig.10. 1. Relación velocidad de deposición/Intensidad de corriente. Soldadura

- Factor de operación. Se define como la relación entre el tiempo en que ha existido arco y el tiempo real o tiempo total pagado. Se determina a través de la tabla adjunta.

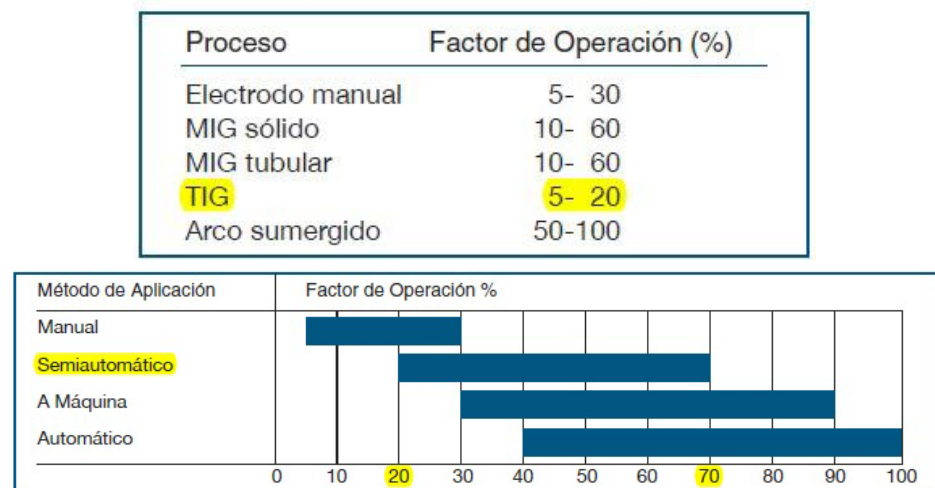


Fig.10. 2. Factor de Operación soldadura TIG

Al ser una soldadura TIG pero realizarse de manera semiautomática, se selecciona un valor intermedio entre ambas gráficas, siendo éste de 40%.

Primeramente se procede a realizar el cálculo del peso de metal depositado Pmd de la unión soldada. Se divide entre traviesa-vigas y tubo de torsión-vigas.

- **Travesía-vigas**

El espesor mínimo es de 5 milímetros. A partir de ese espesor se obtiene e interpolando se obtiene un valor de densidad del metal depositado de 0.119 Kg/ml. Con este valor, sabiendo que la longitud total del cordón a realizar es 520 milímetros y el área seccional es 3.75 mm², se obtiene un valor de Pmd (peso de metal depositado) de 232.05 kg/ml o lo que es lo mismo 232.05 g/mm³.

- **Tubo de torsión-vigas**

El espesor mínimo es de 4 mm que corresponde al tubo de torsión. Se repiten las mismas operaciones que en el cálculo anterior, obteniendo un valor de metal depositado de 0.057 kg/ml. Con este valor, calculando la longitud total del cordón a realizar siendo esta 2 veces el perímetro circular del tubo de diámetro 35mm igual a 219.9 mm y el área seccional es 3.13mm², se obtiene un valor de Pmd de 39.17 Kg/ml o lo que es lo mismo 39.17 g/mm³.

La suma total de peso de metal depositado (Pmd) es de 271.22 g/mm³.

A continuación se realiza el cálculo del valor de la mano de obra, en “Euros por metro lineal” obteniendo un valor de 122.05 € añadiendo el gasto de varillas de aporte estimado en 10 €, hacen en total 132.05 €.

10.4. Presupuesto total

TAREA	COSTE (Euros)
MATERIALES	215.4
MECANIZADO	1995
SOLDADURA	122.05
TOTAL	2332.45

Tabla 39. Presupuesto Total

11. CONCLUSIONES

El objetivo para el que se ha elaborado el proyecto se encuentra centrado en el diseño del basculante y sistema de suspensión, de la manera más óptima desde el punto de vista de una motocicleta de competición de 250cc, para la participación en la III Competición Internacional Motostudent que se celebrará en Noviembre de 2014.

Para la realización del proyecto ha sido necesario la lectura y comprensión de varios libros referentes al estudio y diseño de chasis de competición y comportamiento de la motocicleta, pudiendo aplicar estos conocimientos adquiridos al desarrollo del proyecto en busca de la mejor solución para adaptarla a las necesidades de la motocicleta.

Además de la base conseguida a través de la lectura, ha sido necesario el aprendizaje de varios programas de diseño, sin los cuales hubiera sido posible la realización del proyecto. Con ello se ha conseguido el dominio de varios programas muy interesantes, los cuales, serán sin ninguna duda de gran utilidad para el futuro.

Primeramente, se ha estudiado la geometría óptima del sistema de suspensión, mediante el programa de estudio de cinemático y dinámico “Motorcycle kinematics”. Con los datos obtenidos mediante el programa y el estudio de esfuerzos sobre la motocicleta que se ha realizado, se procede al diseño estructural del basculante y componentes del sistema de suspensión, usando para ello, el programa CAD en 3D Solidworks, el cual nos permitió además el estudio de MEF, mediante su módulo CAE “Solidworks Simulation” optimizando la estructura lo máximo posible.

Como última característica del proyecto, la cual, diferencia la mayoría de proyectos es la fabricación real y puesta en funcionamiento del basculante, pudiendo experimentar así la culminación de un proyecto y la comparación de los resultados teóricos con los obtenidos por el sistema en funcionamiento.

12. BIBLIOGRAFIA

- “Motocicletas: Comportamiento dinámico y diseño de chasis” – Tony Foale.
- “Motocicletas” – Manuel Arias y Paz Guitián.
- “Motorcycle design and technology handbook” – Gaetano Cocco.
- “Motorcycle Kinematics User’s Manual” – Tony Foale
- “The Racing Motorcycle. A technical guide for constructor. Vol.1” – John Bradley
- Manual de usuario de PCDMIS 2011
- Reglamento Técnico III Competición Internacional Motostudent
- “Manual del soldador “- OXGASA
- Catálogo características materiales ALU-Stock S.A.

ANEXO 1

MATERIALES Y SOLDADURA

En este anexo se describe la soldadura a emplear para la unión de los elementos y los materiales utilizados en la construcción del basculante y bieletas.

















1. MATERIALES

Para la fabricación del basculante y los componentes de la suspensión se emplean distintos tipos de aleaciones de aluminio.

Para el basculante se utiliza la aleación de aluminio 6082-T6, por su gran mecanizabilidad y buena soldabilidad.

Para las bieletas se utiliza la aleación de aluminio 7075-T6, por su gran resistencia y mecanizabilidad.

1.1. Aleación de aluminio 6082-T6

COMPOSICIÓN QUÍMICA										
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo	0,70			0,40	0,60				Otros	Total
Máximo	1,30	0,50	0,10	1,00	1,20	0,25	0,20	0,10	0,05	0,10
										El resto
EQUIVALENCIAS INTERNACIONALES										
										
Austria - Önom AlMgSi11	Canadá - C.N.D. (SG11R)	E.E.U.U. - A.A. 6082	España - U.N.E. L-3453 / 38.348	Francia - Afnor A - SGM0,7	Reino Unido - B.S. H80	Italia - U.N.I. 3571 / 9006 - P4	Japón - J.I.S.			
										
Hungría - M.S.Z. AlMgSi11	Noruega - N.S. 17305	Polonia - P.L. PA 4N / PA 4	Alemania - D.I.N. AlMgSi1 / 3.2315	Suecia - S.I.S. 4212	Suiza - V.S.M. AlMgSi1Mn	Rusia - G.O.S.T.	E.N. EN AW-6082			
EQUIVALENCIAS NACIONALES, NORMAS Y NOMBRES COMERCIALES										
ISO	ESPAÑA	ALEMANIA	CANADA	E.E.U.U.	FRANCIA	REINO UNIDO	ITALIA	OTROS		
AlSiMgMn	L-3453	WG-85 15	B5 15		A-SgM0,7	H30	3571	17305		
		Aludur-533				L15	RE2	4212		
		Anticorodal 110				GB-515	6087	Dekoral S		
		401/410				Alcoa 920	F177	Anticorodal 112		
		AS1/AS14				Bimetal 071	AC 11	S-Korofestal		
		6010/6012				BA25	9006/4	6508		
		19/20				Duralium S		2005		
		19/49				Hiduminium-44		NA-6082		
		A32/A31				Anticorodal 090		611		
								APM165		


PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

- Chapas: Ver en la página 118.29
- Barras: Ver en página 118.8
- Perfiles: Ver en página 118.8

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N/mm ²	Peso específico g/cm ³	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1/10 ⁶ K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μΩ/cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
70.000	2,71	575 - 650	23,1	T4 - 167 T6 - 172	T4 - 4,1 T6 - 3,9	T4 - 42 T6 - 44	- 0,83

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T6	395	330	16	330	290	13	315	280	12	315	280	12	300	265	14

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T6	240	220	17	130	105	28	50	35	60	30	18	80	20	12	85

Rm N/mm²; Rp N/mm²; A 5,65 %.

Según normas A.A.

APLICACIONES

Estructuras ligeras para vagones de ferrocarril, construcciones navales, plataformas marítimas, pantalanos, puentes civiles y militares, bicicletas y sus accesorios, calderería, estructuras para vehículos, sistemas hidráulicos, equipamiento de minas, torres, motoras, tecnología nuclear, mástiles y timones para barcos (especialmente para agua dulce), andamios, estructuras para carpas y pabellones, torilería, remaches, moldes, etc.

APTITUDES TECNOLÓGICAS
SOLDADURA:

- A la llama
- Al arco bajo gas argón
- Por resistencia eléctrica
- Braseado

COMPORTAMIENTO NATURAL:

- En ambiente rural
- En ambiente industrial
- En ambiente marino
- En agua de mar

ANODIZADO:

- De protección
- Decorativo
- Anodizado duro

MECANIZACIÓN:

- Fragmentación de la viruta
- Brillo de superficie

Estado: 0



Estado: T6


RECUBRIMIENTO:

- Lacado
- Galvanizado
- Níquel químico

Aleación para uso alimenticio: SI



- Muy buena.
- Buena.
- Regular.
- Mala, evitar.

ALU-STOCK S.A.
RADIOS DE PLEGADO

90°	Estado	0,5 < e < 1,5 mm.	1,5 < e < 3,0 mm.	3,0 < e < 6,0 mm.	6,0 < e < 9,0 mm.	9,0 < e < 12,5 mm.
	0	0,5	1,0	1,5	2,5	2,5
	T4/T451	1,5	2,0	3,0	4,0	4,0
	T42	1,5	2,0	3,0	4,0	4,0
	T6/T651/T62	2,5	3,5	4,5	6,0	6,0
	T61/T6151	2,0	2,5	4,0	5,0	5,0

180°	Estado	0,5 < e < 1,5 mm.	1,5 < e < 3,0 mm.	3,0 < e < 6,0 mm.	6,0 < e < 9,0 mm.	9,0 < e < 12,5 mm.
	0	1,0	1,0			
	T4/T451	3,0	3,0			
	T42	-	-			
	T6/T651/T62					
	T61/T6151					

Para conocer el radio multiplicar el espesor de la chapa por el coeficiente e.

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Estado	Tratamiento de puesta en solución T° C	Medio de temple	Tratamientos de maduración artificial. Mantenimiento a T° en horas.	Maduración natural.
T4	530°C ± 5°C	Agua a 40°C		8 días mínimo
T6	530°C ± 5°C	Agua a 40°C	8 horas a 175°C ± 5°C ó 6 horas a 185°C ± 5°C	

- Intervalo de temperatura de forja: 350° - 500°C.
- Recocido total: 420°C, con enfriamiento lento hasta 250°C.
- Recocido contra acritud: 340°C.

OBSERVACIONES

Aleación de características medias y buena forjabilidad. Esta aleación que endurece por tratamiento térmico, tiene una buena aptitud a la soldadura pero pierde casi un 30% de la carga de rotura en la zona soldada, por lo que se aconseja hacer un tratamiento de maduración para recuperar las características perdidas.



















1.2. Aleación de aluminio 7075-T6

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo			1,20		2,10	0,18	5,10		Zr + Ti Total	
Máximo	0,40	0,50	2,00	0,30	2,90	0,28	6,10	0,20	0,25 0,15	El resto

EQUIVALENCIAS INTERNACIONALES

 Austria - Önorm AlZnMgCu1,5	 Canada - C.N.D. ZG62	 E.E.U.U. - A.A. 7075	 España - U.N.E. L3710 / 38.371	 Francia - Afnor A-25GU	 Reino Unido - B.S. 2L95-L160-L161	 Italia - U.N.I. 3735 / 9007-P2	 Japón - J.I.S. A 3 x 6
 Hungría - M.S.Z.	 Noruega - N.S.	 Polonia - P.L.	 Alemania - D.I.N. AlZnMgCu1,5 / 3.4365	 Suecia - S.I.S.	 Suiza - V.S.M. AlZnMgCu1,5	 Rusia - G.O.S.T. V 95	 E.N. EN-AW-7075

EQUIVALENCIAS NACIONALES, NORMAS Y NOMBRES COMERCIALES

ISO	ESPAÑA	ALEMANIA	CANADA	E.E.U.U.	FRANCIA	REINO UNIDO	ITALIA	VARIOS
AlZn6MgCu	L-3710 38.271 Alzintok 75	AlZnMgCu 1,5 3.4365 AZ6 Constructal 2073 Constructal 2075 1750	ZG62 M755	QQ-A-200/11 QQ-A-225/9/12 QQ-A-430 WW-T-700/7 ASTM B209/210/211 ASTM B221/241/247 ASTM B316 AMS 4038/4047/4049 AMS 4139/4154/4168 ASTM ZG62 A	A-25GU Superalumag T50	2L95 L160	3735 Engal 55 EG55 E51 9007/2	V95 Perradur S Perunal -215 Aludur 620 M755 ASV 2082

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

- Chapas: Ver en la página 118.31, 32 y 33
- Barras: Ver en página 118.13 y 14
- Perfiles: Ver en página 118.13 y 14

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Estado	Tratamiento de puesta en solución T° C	Medio de temple	Tratamientos de maduración artificial Mantenimiento a T° en horas
T6	465°C ± 5°C	Agua a 40°C máximo	12 a 16 horas a 135°C ± 3°C
T73			Chapas: 6 a 8 horas a 108°C seguido de 24 a 30 horas a 161°C ± 3°C
T73			Bandas: 6 a 8 horas a 108°C seguido de 8 a 12 horas a 177°C ± 5°C
T651	Tracción controlada de 1,5 a 3%		

- Intervalo de temperatura de forja: 350° - 450°C.
- Recocido total: 420°C seguido de 6 horas a 230°C si se va a almacenar durante largo tiempo.
- Recocido contra acritud: 340°C.

APLICACIONES

Debido a su elevado límite elástico es una aleación muy adecuada para piezas sometidas a grandes fatigas, se utiliza para la construcción de troqueles, moldes de soplado, matrices, maquinaria, herramientas, armamento, blindajes, industria del automóvil, piezas estampadas, tornillería, bastones de esquí, accesorios ortopédicos, cañas de pesca, arcos y flechas, raquetas de tenis, remaches, aplicaciones nucleares.



APTITUDES TECNOLÓGICAS

SOLDADURA:

A la llama	■
Al arco bajo gas argón	■
Por resistencia eléctrica	■
Braseado	■

COMPORTAMIENTO NATURAL:

En ambiente rural	■
En ambiente industrial	■
En ambiente marino	■
En agua de mar	■

ANODIZADO:

De protección	■
Decorativo	■
Anodizado duro	■

MECANIZACIÓN:

Fragmentación de la viruta	■
Brillo de superficie	■

Estado: T5

Estado: T6

RECUBRIMIENTO:

Lacado	■
Galvanizado	■
Níquel químico	■

Aleación para uso alimenticio: NO ■

■	Muy buena.
■	Buena.
■	Regular.
■	Mala, evitar.

ALU-STOCK S.A.

RADIOS DE PLEGADO

90°	Estado	0,5 < e < 1,5 mm.	1,5 < e < 3,0 mm.	3,0 < e < 6,0 mm.	6,0 < e < 9,0 mm.	9,0 < e < 12,5 mm.
	0	0,5	1,0	2,5	4,0	4,0
	T6/T651/T62	5,5	6,5	8,0	12,0	12,0
180°	Estado	0,5 < e < 1,5 mm.	1,5 < e < 3,0 mm.	3,0 < e < 6,0 mm.	6,0 < e < 9,0 mm.	9,0 < e < 12,5 mm.
	0	2	3	-	-	-
	T6/T651/T62	-	-	-	-	-

Para conocer el radio multiplicar el espesor de la chapa por el coeficiente e

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T6	705	635	9	620	545	11	595	515	11	570	505	11	485	450	14
T7351	635	495	14	545	460	14	525	450	13	505	435	13	435	400	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T6	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70
T7351	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70

Rm N/mm²; Rp N/mm²; A 5,65 %.

Según normas A. A.

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N / mm ²	Peso específico g / cm ³	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1 / 10 ⁶ K	Conductividad térmica W / m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μ(Ω) cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
72.000	2,81	475 - 635	23,5	0 - 175	0 - 3,8	0 - 45,5	- 0,81
				T6 - 134	T6 - 5,2	T6 - 33,0	

OBSERVACIONES

Se ha de tener cuidado en la elección del temple (u otros tratamientos térmicos) para el equilibrio de las características. Se puede pliquear con la aleación 7072 para una mejor protección contra las grietas por corrosión bajo tensión. Con herramientas apropiadas se puede mecanizar a velocidades superiores a 2000 m/min.

1.3. Documentos de Calidad de Material

La empresa suministradora del material debe dar al cliente un "Certificado de Calidad" del material suministrado, dónde se informa de las características del material adquirido.

CERTIFICADO DE CALIDAD			
HURTADOS SUMINISTROS S.L.			
Nº COLADA	10750		
Nº CERTIFICADO	5850		
Cliente	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA		
Producto	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> PLACA ALUMINIO 7075 T6 300X100X20 PLACA ALUMINIO 7075 T6 300X100X40 </div>		
FECHA:	21/02/2013		
Albaran	50328		
Composicion quimica			
SI	0,14		
CU	1,3		
MN	0,053		
MG	2,47		
ZN	5,7		
TI	0,053		
CR	0,19		
AL	RESTO		
Caracteristicas Mecanicas			
LIMETE ELASTICO	525		
RESISTENCIA TRACION	595		
ALARGAMIENTO	12%		
DUREZA HARDNESS	172%		
SEGÚN NORMA EN485-2			
HURTADO SUMINISTROS P.I.OESTE SAN GINES MURCIA			



HURTADO SUMINISTROS ,S.L.
BRONCES,FUNDICIONES, PLASTICOS

CERTIFICADO DE CALIDAD

6082

<i>CLIENTE</i>	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA	
<i>ALBARAN</i>	50328	21/02/2013

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

PLACAS DE ALUMINIO 6082 T6

CERTIFICAMOS QUE BAJO EL CONTROL POR SISTEMA DE NUESTROS PRODUCTOS, LOS MATERIALES DESCRITOS ARRIBA CUMPLEN LAS , ESPECIFICACIONES DE LA ALEACION.

COMPOSICION QUIMICA.

	valor medio.	valor max		valor medio	
AL	Resto		MG	0,6	1,2
SI		1,3	NI	0	
PB	0	0	CR	0,25	0,25
CU	0,1	0,1	MN	0,4	1
P	0		TI	0,1	0,1

CARACTERISTICAS MECANICAS

	valor medio
LIMITE ELASTICO	60
CARGA A LA ROTURA	260
ALARGAMIENTO	14
DUREZA HB-10-1000	90
LIMITE A LA FATIGA	200

NORMAS: DIN 1725 DIN 1746 FORTAL 2030
L 3121

SISTEMA DE CALIDAD ISO 9001

2.SOLDADURA

Las aleaciones de aluminio se sueldan al arco, bajo atmósfera inerte (argón, helio o una mezcla de los dos) y hay dos técnicas: la soldadura MIG y la soldadura TIG. Tras comparar ambas se ha comprobado que la más idónea en este caso es la TIG. Es por ello que será la elegida para soldar los distintos elementos del chasis. Todo el procedimiento y preparaciones se describen en este anexo.

La soldadura al arco bajo atmósfera inerte con electrodo refractario o procedimiento TIG (Tungtène Inert Gas) es un procedimiento en el cual se hace saltar un arco eléctrico entre un electrodo refractario de tungsteno y la pieza a soldar. Mientras, un chorro de gas inerte, generalmente argón, rodeando el electrodo, protege el baño de fusión contra la oxidación. Una varilla de aportación sujeta con la mano alimenta el baño de fusión.

Se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (su punto de fusión es de 3410 °C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado. Los gases más utilizados para la protección del arco en esta soldadura son el argón y el helio, o mezclas de ambos.

La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el baño de fusión. Además, dicho gas simplifica notablemente el soldeo de metales ferrosos y no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las deformaciones o inclusiones de escoria que pueden implicar. Otra ventaja de la soldadura por arco en atmósfera inerte es la que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones; la movilidad del gas que rodea al arco transparente permite al soldador ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura. El cordón obtenido es por tanto de un buen acabado superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción. Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es menor.

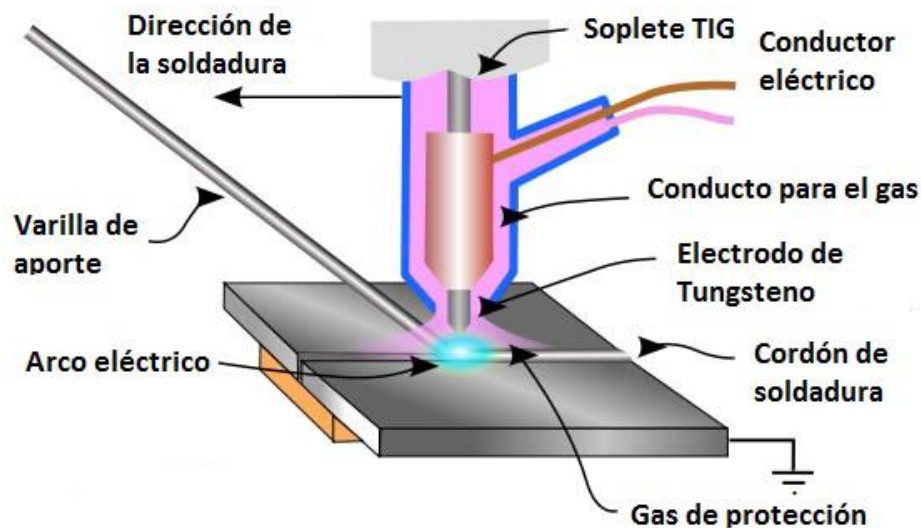
Como inconvenientes está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con la subsiguiente instalación de tuberías, bombonas, etc., y el encarecimiento que supone. Además, este método de soldadura requiere una mano de obra muy especializada, lo que también aumenta los costes. Por tanto, no es uno de los métodos más utilizados sino que se reserva para uniones con necesidades especiales de acabado superficial y precisión. Este procedimiento utiliza una fuente alimentada por corriente alterna estabilizada por HF específicamente concebida para la soldadura de las aleaciones de aluminio. Se utiliza en espesores comprendidos entre 1 y 6 mm y se puede robotizar.

En la soldadura de aluminio con arco de tungsteno y gas de protección inerte (TIG) se usa una fuente de corriente alterna de 50 Hz, una corriente de alta frecuencia superpuesta (CA). El electrodo es no

fusible de tungsteno puro o tungsteno aleado con circonio. Este método de soldadura se puede usar en todas las posiciones y, utilizado correctamente, permite la obtención de una soldadura de gran calidad.

El peligro de porosidad es menor que en la soldadura MIG. El arco rompe la película de óxido y por lo tanto, para la automática se usa hilo en bobinas. Como regla, se usa la soldadura TIG para espesores de 0,7 a 10 milímetros pero no hay realmente un límite máximo.

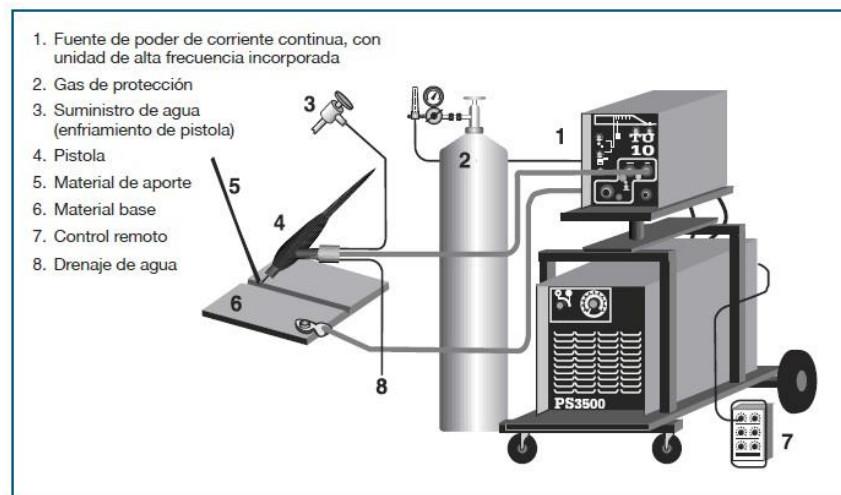
Se deben preparar los bordes cuidadosamente para que no haya aberturas entre las placas, ya que es mucho más fácil de controlar el baño de fusión si la separación es mínima. En espesores superiores a 5 milímetros se deben biselar las aristas de las uniones a soldar. Cuando se trata de soldadura de chapa fina resulta más ventajoso el uso de plantilla para evitar las distorsiones debidas al calor de la soldadura y las separaciones entre bordes debidas a aquellas.



2.1. Equipo

El equipo necesario para llevar a cabo la soldadura TIG estará constituido por los siguientes elementos:

- Fuente de poder.
- Unidad de alta frecuencia.
- Pistola.
- Suministro gas de protección.
- Suministro agua de enfriamiento.
- La pistola asegura el electrodo de tungsteno que conduce la corriente, el que está rodeado por una boquilla de cerámica que hace fluir concéntricamente el gas protector.
- La pistola normalmente se refrigera por aire. Para intensidades de corriente superiores a 200A. Se utiliza refrigeración por agua, para evitar recalentamiento del mango.



2.2. Limpieza antes de soldar

La limpieza antes de la soldadura es esencial para conseguir buenos resultados. La suciedad, aceites, restos de grasas, humedad y óxidos deben ser eliminados previamente, bien sea por medios mecánicos o químicos. Para trabajos normales de taller se puede elegir el siguiente procedimiento: Eliminación de la suciedad y desengrasado en frío con alcohol o acetona.

- Lavar con agua y secar inmediatamente para evitar el riesgo de oxidación.
- Eliminación mecánica mediante:
 - Cepillado con un cepillo rotativo inoxidable.
 - Raspado con lija abrasiva o lima.
 - Por chorreado.

Cuando hay demandas más exigentes respecto a la preparación, se puede realizar una limpieza química según el esquema siguiente:

- Eliminación de la suciedad.
- Desengrasado con percloroetileno a 121°C.
- Lavado con agua y secado inmediato.
- Eliminación del óxido de aluminio de la siguiente forma:
- Limpieza alcalina con, por ejemplo, NaOH.
- Limpieza ácida con, por ejemplo, $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{HF}$.
- Lavado con agua y secado inmediato.
- Neutralización con HNO_3 (después del tratamiento con NaOH).
- Baño en agua desionizada.
- Secado inmediato con aire caliente.

Los métodos químicos requieren equipos costosos para el tratamiento superficial y no se pueden usar siempre por esta razón. Sin embargo no se debe nunca prescindir de la eliminación del óxido o el desengrasado en el área de soldadura.

2.3. Atmósfera controlada

Como gases de protección para la soldadura TIG, se usan siempre los gases inertes Argón y Helio. Durante la soldadura el gas inerte enfría la boquilla de soldadura y protege, al mismo tiempo, al electrodo y al baño de fusión. El gas también participa en el proceso eléctrico en el arco. Los gases comerciales que generalmente se usan son los siguientes:

- Argón, pureza 99,95 %.
- Argón + Helio (30/70, 50/50) para soldadura MIG, da un baño de fusión más amplio y caliente.
- Helio para corriente continua. En la soldadura TIG proporciona una fusión más caliente y velocidad de soldadura mayor, pero es más caro y requiere mayor consumo.

El Argón puro es el gas que con mayor frecuencia se usa y se debe emplear en la soldadura normal de taller, puesto que es mucho más económico y requiere menor flujo de gas. El Helio se usa sólo cuando se exige mayor penetración, por ejemplo, en soldadura en ángulo o cuando se suelda un material muy grueso.

2.4. Ambiente

Cuando se suelda el aluminio se producen diferentes tipos de humos y gases. Al igual que en el caso de la soldadura de acero, con el fin de evitar la propagación de esta contaminación, es aconsejable la instalación de extractores de humos y gases.

La intensidad del arco es mucho mayor que en la soldadura de acero y bajo ningún concepto se debe mirar al arco sin una máscara de protección adecuada. La radiación ultravioleta (UV) intensa puede dañar los ojos y la piel, por lo cual el soldador de aluminio debe llevar ropa de protección que cubra todo el cuerpo.

La cantidad de gas depende del método de soldadura, material de aportación y tipo de aleación. La soldadura TIG produce una cantidad de humo considerablemente menor que la soldadura MIG, debido al contenido menor de energía en el arco. Por esta razón es necesaria una buena ventilación general en combinación con medidas individuales como máscaras de aire fresco o dispositivos de aspiración de humos local (In situ).

2.5. El arco

El proceso eléctrico en el arco es de gran importancia para comprender lo que pasa en la soldadura de aluminio. En principio se puede soldar con corriente continua (CC) o con corriente alterna (CA). Si observamos primero la CC, podemos elegir entre dos casos de polaridades diferentes, polaridad negativa y polaridad positiva.

La polaridad negativa cede la mayor parte de su energía a la pieza de trabajo, 70 %, de modo que obtenemos un baño de fusión profundo, con buena penetración. La carga sobre el electrodo es

reducida, lo cual es una ventaja en la soldadura TIG. Una gran desventaja al emplear esta polaridad es que el arco rompe la película de óxido, de modo que se hace necesario un tratamiento previo del material, como la preparación cuidadosa de los bordes, limpieza y bordes biselados. En combinación con arco pulsado se puede soldar chapa fina desde 0,06 mm.

La soldadura con corriente continua y polaridad positiva (polaridad invertida) se usa para la soldadura MIG. Es típico que en la distribución de calor, el 70 % corresponda al electrodo. El baño de fusión es relativamente ancho y de escasa profundidad resultando en poca penetración.

La ventaja determinante para el uso de polaridad positiva consiste en el efecto rompedor de la película de óxido del arco, con tal eficacia, que dicha película ya no sea obstáculo para conseguir una buena calidad en la soldadura. El mecanismo para este efecto rompedor de la película de óxido no es completamente conocido, pero una explicación es que se debe al bombardeo de la superficie de iones metálicos positivos análogo a la limpieza de superficies por chorreo.

Aunque el arco tiene esta propiedad no se debe prescindir de la eliminación del óxido antes de empezar la soldadura. El arco no es capaz de romper las películas de óxido gruesas formadas durante la laminación de chapas en caliente, sino sólo las capas finas que se forman después de la limpieza.

La soldadura con corriente alterna (CA) implica que la polaridad se cambia aproximadamente 100 veces por segundo y, por lo tanto, se pueden considerar las propiedades de la soldadura con CA como el promedio entre los dos casos en la soldadura con corriente continua. La distribución del calor es casi la misma entre el electrodo y la pieza de trabajo; la penetración y ancho del baño de fusión cae entre los valores que rigen para los dos casos anteriores. El arco tiene todavía un efecto rompedor de la película de óxido.

La corriente alterna se usa en la soldadura TIG normal con argón como gas protector. La corriente absorbida por el equipo se altera debido a la acción rectificadora del arco. Por esta razón se ha diseñado una máquina para soldadura TIG que compensa este efecto.

2.6. Materiales de aportación

En la soldadura MIG se utilizan siempre materiales de aportación, mientras que en la soldadura TIG se puede o no utilizar. Las mejores propiedades de la junta soldada en lo que se refiere a la resistencia, corrosión y ausencia de fisuras, se obtiene cuando se usan materiales de aportación de acuerdo con las tabla se detallarán a continuación.

No existe una norma general para la elección de los materiales de aportación debido al tipo de utilización y al parámetro que interese más en cada caso. Las de alto contenido en magnesio AlMg5 (EN AW 5356-5556) dan mayor resistencia, mientras que la de AlSi5 (EN AW 4043) es más resistente a la fisuración y proporciona mejor flujo de metal durante el proceso de fusión de las aleaciones templables. Este tipo de aleaciones (AlCu - AlMgSi - AlZn), no se deben soldar con material de aportación del mismo grupo de aleación por el proceso de fisuración.

En el caso de que el material se vaya a anodizar posteriormente a la soldadura, se evitará el material de aportación AlSi5 porque cogerá en la zona de soldadura un color muy oscuro. Con el fin de reducir el peligro de la corrosión bajo tensión y aumentar la resistencia, se ha añadido Cu a las aleaciones de AlZnMg. Al hacer esto también empeora la soldabilidad. Diversas investigaciones señalan que se puede añadir como máximo 0,2% de Cu, antes de que el peligro de fisuración en caliente aumente considerablemente. Se elige en este caso el AlSi5 (EN AW 4043).


En este caso, interesa conocer el material de aportación a utilizar para soldar aluminio 6082 consigo mismo y aluminio 6082 con 6063. Para ello se utilizará la siguiente tabla, en la cual se especifica como cumple la soldadura una serie de características, tales como la facilidad a la soldadura, resistencia de la junta soldada, resistencia a la corrosión, ductilidad etc.

Se prestará una menor atención a los apartados de homogeneidad del color, ya que una vez montada la motocicleta se le dará un pulido; y la resistencia de trabajo a temperaturas superiores a la normal, ya que la refrigeración de la moto no permitirá que el chasis trabaje a una temperatura muy superior.

Por otro lado, se le dará especial importancia a la resistencia a la corrosión y facilidad a la soldadura, pero sobre todo a la resistencia de la junta soldada. Es por ello que el material de aportación elegido será el 5356 de 4 milímetros, teniendo éste una muy buena resistencia de la junta soldada.

Para una mejor observación de cómo cumple este material de aportación todos los puntos mencionados anteriormente se adjunta la siguiente tabla.

**CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE APORTACIÓN PARA
LA SOLDADURA AL ARCO DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO**

 MATERIAL DE ALEACIÓN APORTACIÓN A SOLDAR	Facilidad a la soldadura					Resistencia en la junta soldada					Resistencia a la corrosión					Resistencia de trabajo a temperatura superior a la normal					Homogeneidad del color después de la anodización					Ductibilidad				
	1200	4043	5654	5356	5556	1200	4043	5654	5356	5556	1200	4043	5654	5356	5556	1200	4043	5654	5356	5556	1200	4043	5654	5356	5556					
5052, 5754 con:																														
5052	-	MB	B	MB	R	MB	-	E	R	B	B	R	MB	-	R	B	-	B	-	MB	B	-	MB	B	B					
5154, 5754	-	MB	B	MB	R	MB	-	E	R	B	B	R	MB	-	R	MB	B	MB	B	MB	B	-	MB	B	B					
5454	-	MB	B	MB	R	MB	-	E	R	B	B	R	MB	-	R	B	B	MB	B	B	MB	B	-	MB	B					
5083, 5086, 5456	-	-	-	MB	-	MB	-	-	-	B	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-					
6060, 6063, 6101	-	MB	R	B	R	B	-	B	MB	MB	MB	MB	-	MB	B	-	B	-	B	MB	MB	MB	-	MB	B					
6061, 6082	-	MB	R	B	R	B	-	E	R	B	B	R	MB	-	MB	B	-	B	-	MB	B	-	MB	B	B					
5083, 5056 con:																														
5154, 5754	-	-	B	MB	B	MB	-	-	R	B	B	R	MB	-	-	MB	MB	MB	MB	B	-	-	B	MB	B					
5454	-	-	-	MB	B	MB	-	-	-	B	R	MB	-	-	-	B	MB	B	-	MB	MB	MB	-	MB	B					
5083, 5086, 5456	-	-	-	MB	-	MB	-	-	-	B	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-					
6060, 6063, 6101	-	MB	B	MB	B	MB	-	B	MB	MB	MB	MB	-	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	-	-	B	MB	B					
6061, 6082	-	MB	B	MB	B	MB	-	E	R	B	B	R	MB	-	MB	MB	MB	MB	MB	B	-	-	B	MB	B					
5086 con:																														
5154	-	-	B	MB	B	MB	-	-	R	B	B	R	MB	-	-	MB	MB	MB	MB	B	-	-	B	MB	B					
5454	-	-	-	MB	B	MB	-	-	-	B	R	MB	-	-	-	B	MB	B	-	MB	MB	MB	-	MB	B					
5086	-	-	-	B	-	MB	-	-	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-	MB	-					
6060, 6063, 6101	-	MB	B	MB	B	MB	-	B	MB	MB	MB	MB	-	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	-	-	B	MB	B					
6061, 6082	-	MB	B	MB	B	MB	-	E	R	B	B	R	MB	-	MB	MB	MB	MB	MB	B	-	-	B	MB	B					
6060, 6082 con:																														
6060, 6061, 6082	-	MB	R	B	R	B	-	B	MB	MB	MB	MB	-	-	MB	B	-	B	-	MB	MB	MB	-	MB	B					

MB: Muy Bueno B: Bueno R: Regular E: Malo, evitar.



ANEXO 2

ESFUERZOS SOBRE LA MOTOCICLETA

En este apartado se muestran las principales fuerzas a las que es sometida la motocicleta en las distintas situaciones de máximo esfuerzo que se pueden plantear durante su uso, así como la explicación de cada una de ellas. La buena obtención de estos datos es un aspecto decisivo en el desarrollo del proyecto, ya que posteriormente serán introducidos en el programa de análisis por elementos finitos, el cual marcará el camino a seguir para la optimización del diseño.

Se tratarán dichas situaciones de forma independiente, explicando y mostrando gráficos e imágenes que aclaren las fuerzas que actúan sobre el sistema. Se dividirán en esfuerzos sobre el basculante, esfuerzos sobre el rocker y esfuerzos sobre el link. Las situaciones escogidas para cada caso, son situaciones más desfavorables posibles.

Para comenzar el estudio es necesario establecer previamente una serie de parámetros en cuanto a peso y geometría:

El peso total se considerará de 165 kg, con piloto, gasolina y aceite incluidos, el coeficiente de rozamiento entre suelo y neumático de 1.2 con pista seca. La distancia entre ejes 1305 mm, pudiendo variar gracias a los tensores del basculante. El reparto de pesos se ha ajustado hasta alcanzar un 50/50, altura del centro de gravedad de la motocicleta 600 mm y un lanzamiento de 23°.

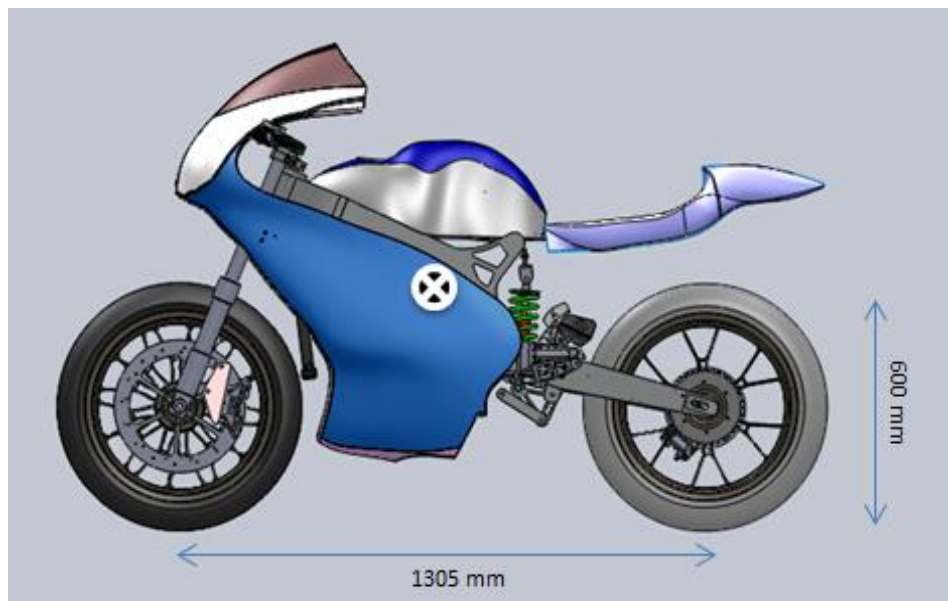


Fig.6.1.Distancia entre ejes y centro de gravedad

Sin embargo, el centro de gravedad no estará fijo debido entre otras cosas al movimiento del piloto en las curvas o al descenso de la gasolina durante la carrera, disminuyendo por tanto el peso total de la motocicleta. Esto deberá tenerse siempre presente durante el estudio para que los datos obtenidos se correspondan lo máximo posible con la realidad.

1. COMPRESIÓN MÁXIMA SUSPENSIÓN

Es la situación que más tensiones van a soportar el basculante. Esta situación se produce cuando la reacción vertical sobre el neumático trasero es muy elevada y llega a comprimir por completo el amortiguador trasero. Las cargas necesarias para comprimir completamente el amortiguador trasero dependen tanto de la rigidez de este como de su disposición dentro de la motocicleta.

En el proceso de desarrollo de la suspensión se ha obtenido un valor de fuerza a compresión máxima de la suspensión, tanto de la rueda trasera como del rocker. Estas fuerzas se han obtenido a través del programa "Motorcycle kinematics", donde se ha obtenido la siguiente gráfica:

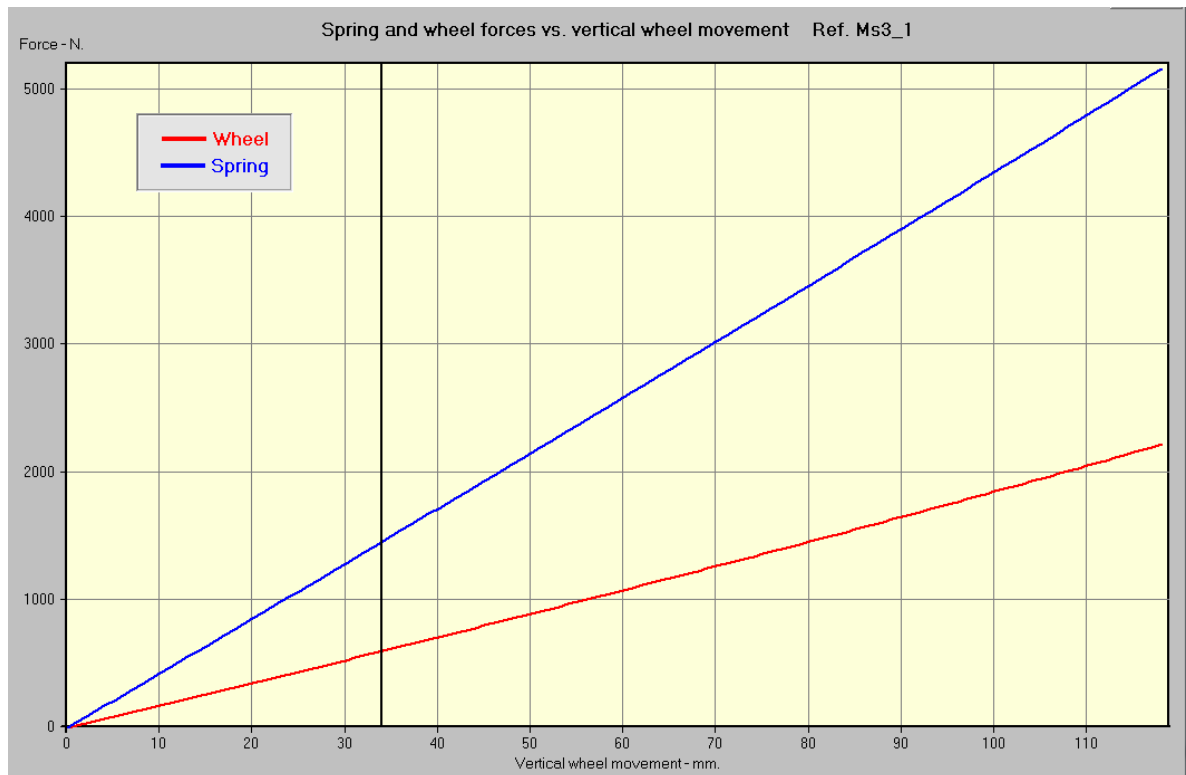


Fig.6.2. Gráfica Fuerzas muelle y rueda vs movimiento vertical rueda

El valor máximo de carga en la rueda y por tanto, en el eje de la misma en el basculante, es de 2221N.

La fuerza que realiza el link sobre el basculante también influye en esta hipótesis de carga, obteniendo del estudio de suspensiones la siguiente gráfica:

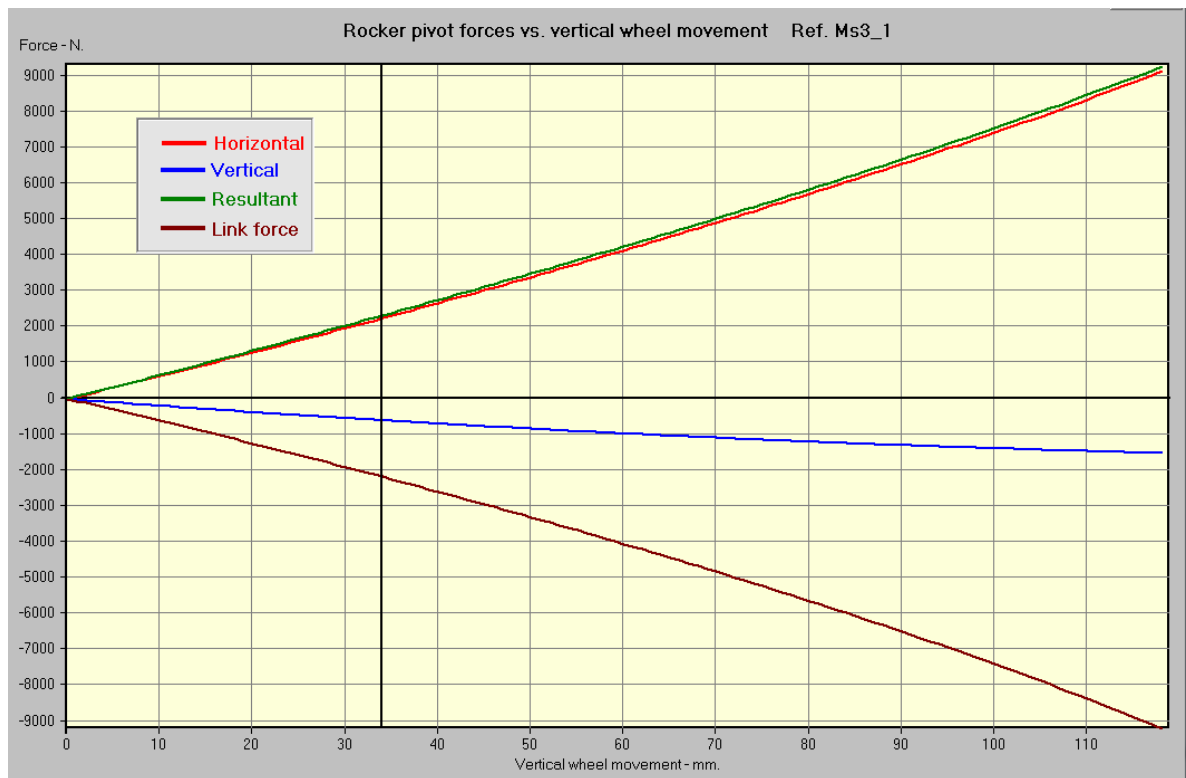
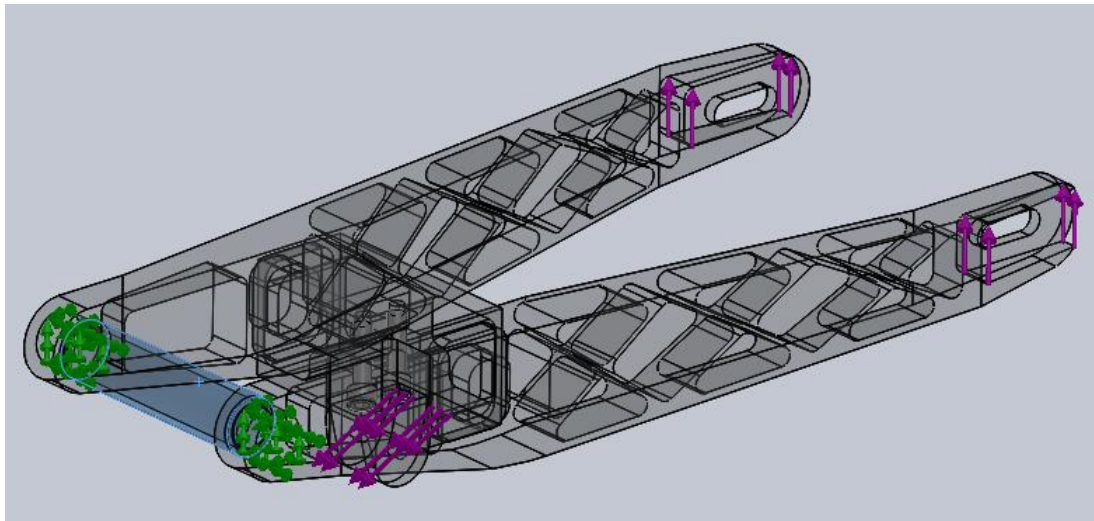


Fig.6.3. Gráfica fuerzas en eje de pivoteado rocker vs movimiento vertical rueda

La fuerza a compresión máxima que ejerce el link sobre el basculante es de -9185 N.

Una vez calculadas las fuerzas, su aplicación sobre el basculante será de la siguiente forma:



2. FRENADA MÁXIMA CON RUEDA TRASERA

En este apartado se tratan las fuerzas resultantes que aparecerían si se produjese una frenada máxima solo con la rueda trasera. Esta situación tan solo suele darse durante pequeños instantes de tiempo, al inicio de la frenada, justo antes de accionar el freno delantero.

En el análisis por elementos finitos interesará particularmente la obtención de las fuerzas de este apartado para dimensionar el basculante en una hipotética fuerza de tracción máxima.

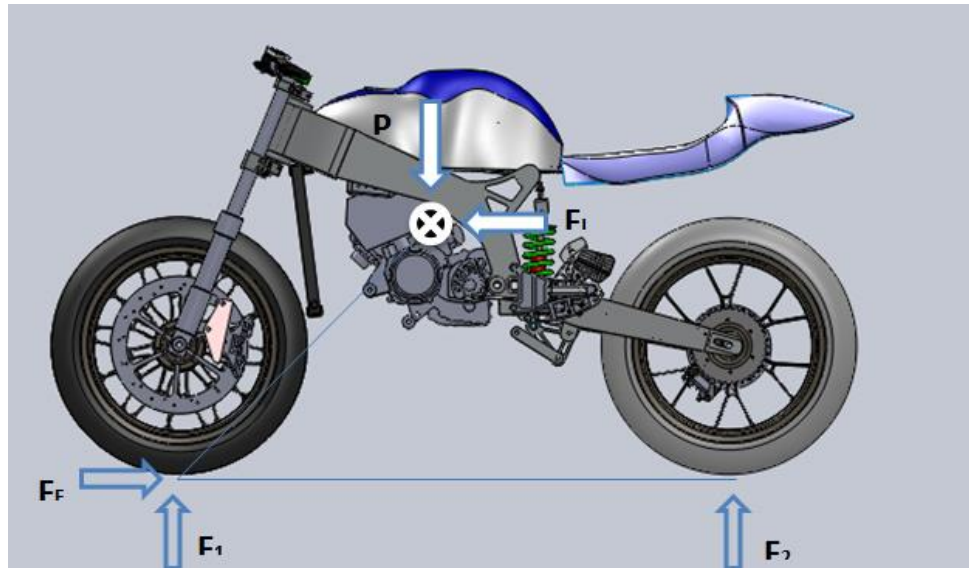


Fig.6.4.Fuerzas actuantes en frenada máxima con rueda trasera

En este caso existe normal en las dos ruedas en todo momento. Lo que realmente interesa saber es como se distribuye el peso de la moto a través de las normales de las ruedas. Se podría considerar que en el instante de accionar el freno trasero, al estar la moto en equilibrio, la normal sería equivalente al 50% del peso total de la moto ya que la posición horizontal del CDG se encuentra a la mitad de la distancia entre ejes. No obstante, en el tiempo de reacción en que las pinzas de freno empiezan a actuar al 100% de su capacidad, la transferencia de pesos hacia la rueda delantera ya ha empezado a producirse, por tanto, se debe aplicar un coeficiente a la reacción del instante teórico en que la normal equivaldría a la mitad del peso. Dadas las circunstancias, y en base a la experiencia de algunos diseñadores, es razonable aplicar un coeficiente de 0.7 a la cifra teórica máxima:

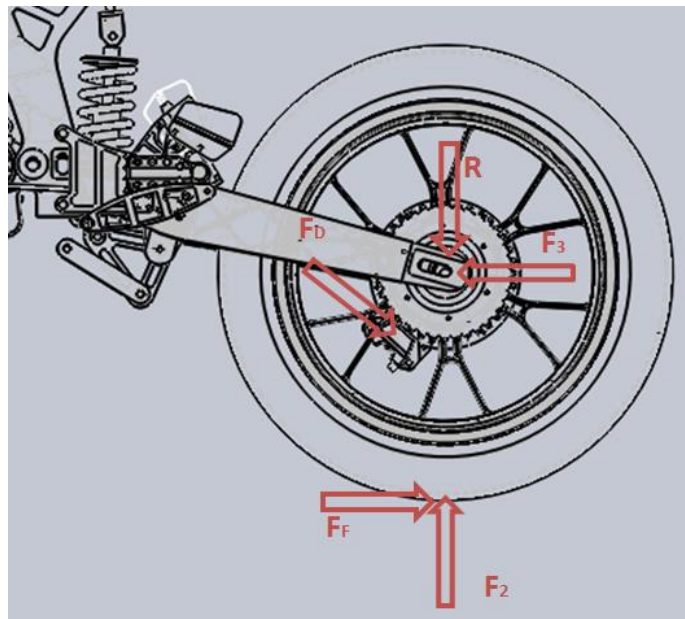
$$P = 165 \times 9.81 = 1618.65 \text{ N}$$

$$F_2 = P/2$$

$$F_F = F_2 \times \mu \times 0.7$$

$$F_F = P/2 \times \mu \times 0.7 = (1618.65/2) \times 1.2 \times 0.7 = 679.83 \text{ N}$$

El diagrama de transmisión de fuerzas queda de la siguiente forma:



A partir de los siguientes datos conocidos:

$$d = 0.296 \text{ m}$$

$$F_F = 679.83 \text{ N}$$

$$F_2 = 809.325 \text{ N}$$

$$R_{disco} = 0.130 \text{ m}$$

$$\alpha_D = 5^\circ$$

Se procede al cálculo siguiente:

$$\Sigma M_O = 0;$$

$$F_F \times d = F_D \times R_{disco}$$

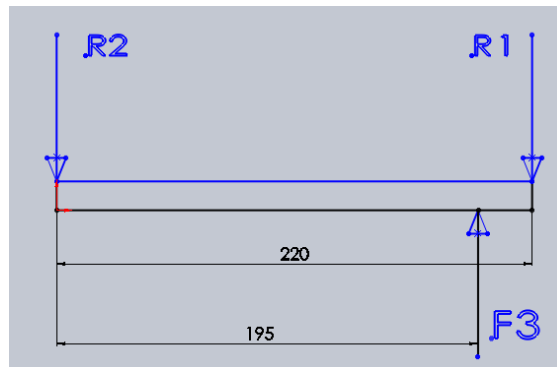
$$F_D = 1547.9 \text{ N}$$

Tomando la hipótesis de $R = F_2$ y $\Sigma M_C = 0$:

$$F_3 \times 0.130 \cos 5 = F_F \times (R_{disco} \cos 5 + 0.296)$$

$$F_3 = 2233.66 \text{ N}$$

Una vez calculada F_3 , se procede a calcular las fuerzas aplicadas sobre el eje de la rueda trasera:



$$F_3 = 2233.66 \text{ N}$$

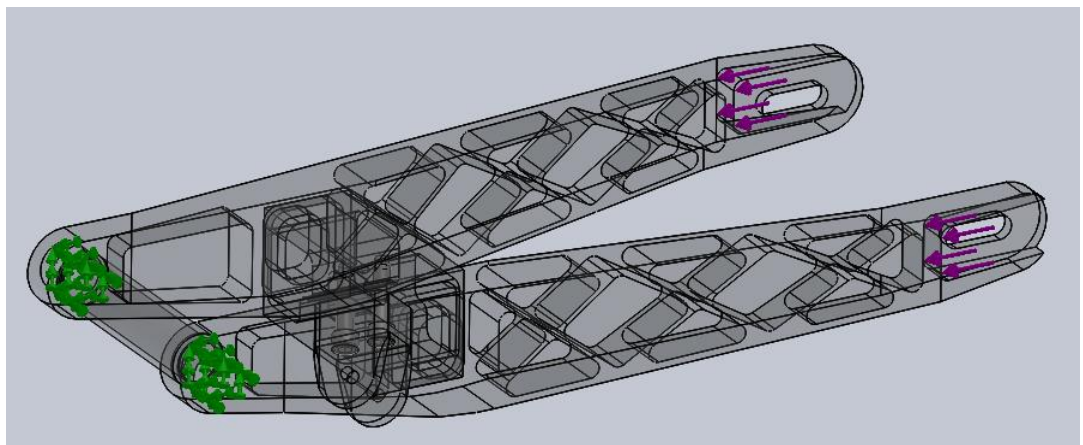
$$R_1 + R_2 = 2233.66$$

$$R_2 \times 0.195 = (2233.66 - R_2) \times 0.025$$

$$R_2 = 253.825 \text{ N}$$

$$R_1 = 1979.83 \text{ N}$$

Calculadas todas las fuerzas, su aplicación sobre el basculante será de la siguiente forma:



3. PASO POR CURVA

Por último se realizará un estudio para determinar el valor de las fuerzas que actúan sobre la motocicleta cuando ésta se encuentra en el punto de inclinación máxima. Para ello se considera la situación de máxima velocidad de paso por curva, en la cual no existirán ni fuerzas de aceleración ni fuerzas de frenada, por lo que todas las fuerzas irán destinadas a vencer al fuerza centrífuga.

El vector resultante de la suma vectorial de F_1 y N estará alineado con el vector resultante de la suma vectorial de P y F_c , tanto en la rueda trasera como en la rueda delantera. El punto de aplicación de fuerza entre los neumáticos y el asfalto se verá desplazado hacia la derecha respecto

al plano de simetría vertical de la moto debido a la inclinación. Este efecto es compensado por el piloto, que durante el paso por curva mantiene una posición “descolgado” hacia el interior de la curva, moviendo así el centro de gravedad también hacia la derecha y provocando un esfuerzo de torsión.

La normal será igual en las dos ruedas y equivaldrá a la mitad del peso de la moto, mientras que la fuerza lateral que ejercen los dos neumáticos contrarrestará la centrífuga. Teniendo en cuenta todo esto:

Condición $N = P$, por tanto:

$$F_1 = N \times \mu = 165 \times 9.81 \times 1.2 = 1942.38 \text{ N}$$

$$\alpha = \arctg(1618.65/1942.38) = 39.8^\circ$$

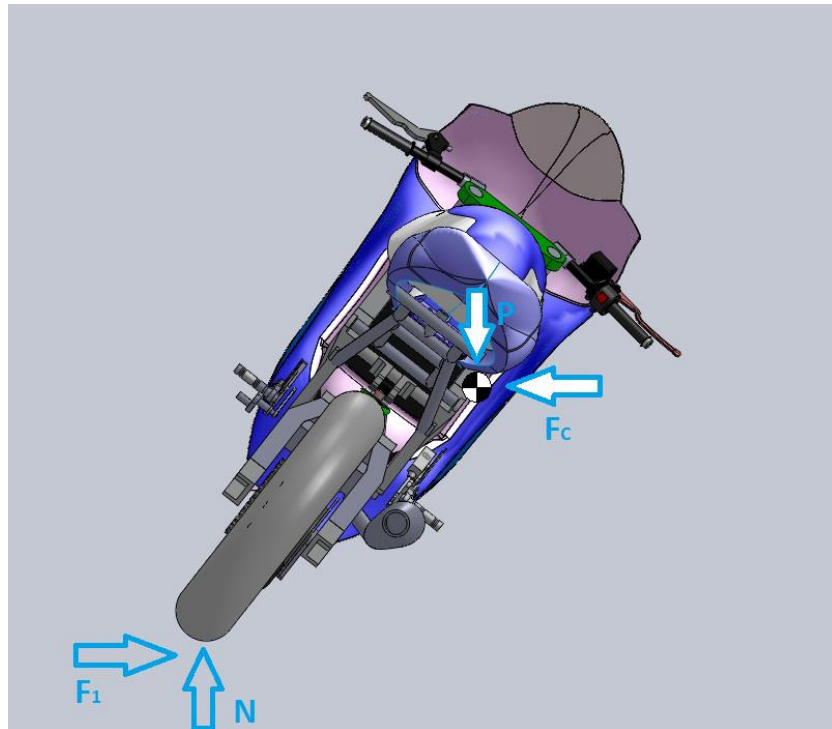


Fig.6.5.Fuerzas actuantes en paso por curva

Este ángulo α corresponde a la inclinación máxima de la motocicleta.

A esta fuerza se le añade el momento torsor provocado por el desalineamiento de las fuerzas del plano de simetría longitudinal de la moto.

Considerando una anchura de neumático de 140mm, se considerara como medida máxima de descentramiento $d = 75\text{mm}$, por lo que se deberá calcular el momento torsor:

$$F_T = \sqrt{F_1^2 + N^2} = \sqrt{1942.38^2 + 1618.65^2} = 2528.41 \text{ N}$$

$$M = F_T \times d = 2528.41 \times 0.074 = 189.63 \text{ Nm}$$

Tomando como condición $N = \frac{P}{2}$, siendo $N = 809.32 \text{ N}$ y $F_1 = 1942.38 \text{ N}$ se obtienen las componentes verticales de las fuerzas sobre las ruedas.

En esta hipótesis se considera que F_2 y F_3 son la suma vectorial de las componentes vertical y horizontal.

$$F_2 = F_3 = \sqrt{(N/2)^2 + (F_1/2)^2} = 1594.18 \text{ N}$$

Esta fuerza es la que se aplicará sobre el basculante, teniendo que dividirla entre dos para obtener la fuerza en cada uno de los brazos del basculante.

Sabiendo que la distancia entre los puntos de apoyo del eje es de 220mm:

$$F = M/d$$

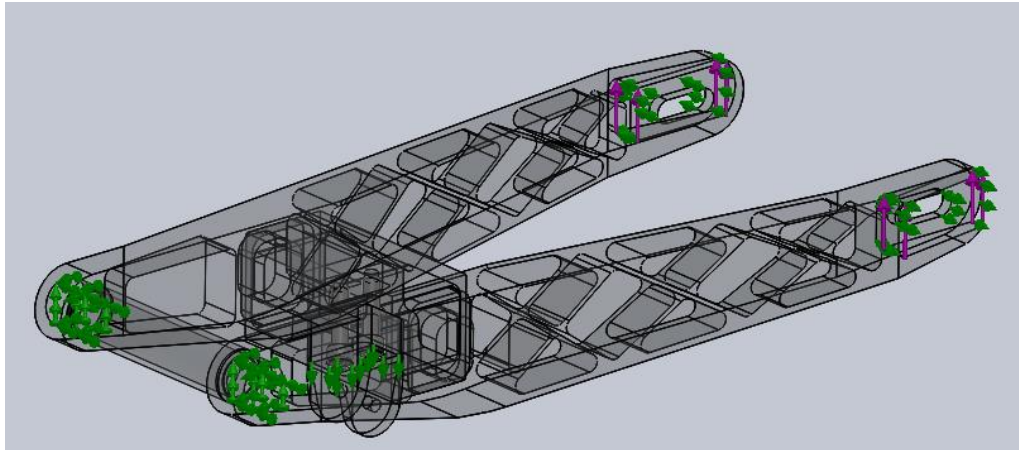
$$F = \frac{189.63}{0.220} = 861.95 \text{ N}$$

Al existir un descentramiento y desalineamiento de la rueda trasera en uno de los apoyos del eje trasera se deberá de incrementar con el valor de fuerza $F = 861.95$, obteniendo así:

$$R_{\text{lado izquierdo}} = 1594.18/2 = 797.09 \text{ N}$$

$$R_{\text{lado derecho}} = 1594.18/2 + 861.95 = 1659.04 \text{ N}$$

Calculadas todas las fuerzas, su aplicación sobre el basculante será de la siguiente forma:



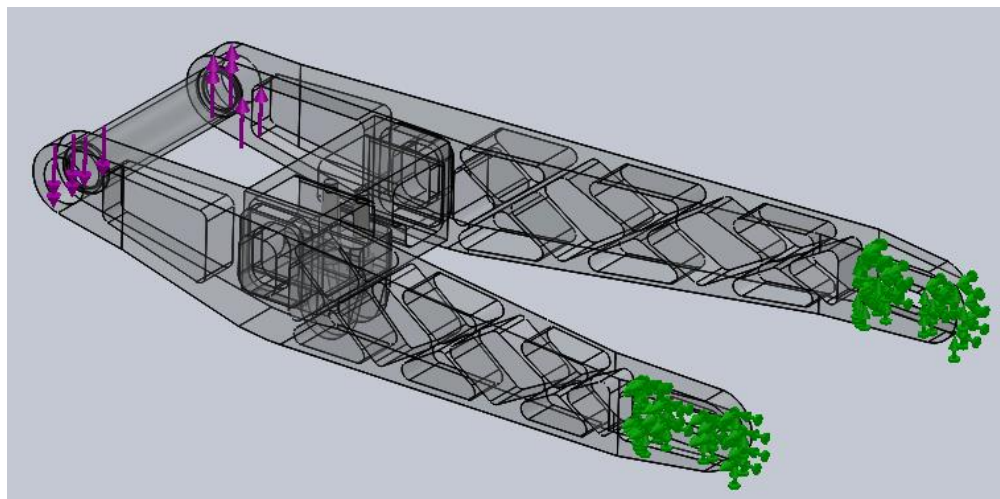
4. GRADO DE RIGIDEZ TORSIONAL

Para este análisis se aplica un par de fuerzas para introducir el momento deseado, este efecto crea un par torsor y así observar el desplazamiento provocado por este par. Las fuerzas se introducen en sendos alojamientos de los rodamientos del eje de pivotamiento, fijando el anclaje del eje trasero, tal y como se muestra en la ilustración siguiente.

El objetivo de estas fuerzas será el de provocar un momento torsor sobre el basculante de 1780Nm para poder observar su deformación. El par torsor introducido equivale a un chasis con un grado de rigidez torsional de 1º. Si el análisis se realizará fijando la parte posterior del basculante, la distancia que se deberá tener en cuenta para calcular la fuerza a aplicar es la que hay entre los dos rodamientos del eje que une el basculante y el chasis. Esta distancia es 170mm, por tanto:

$$F = M/d = 1780/0.170 = 10470.6 \text{ N}$$

Aplicado sobre el basculante de la siguiente forma:



De esta hipótesis de carga únicamente interesa el desplazamiento entre los alojamientos de los rodamientos para así calcular el grado de rigidez torsional. Ahora se calculará el grado de rigidez torsional para los dos casos estudiados.

4.1. Grado de rigidez torsional basculante diseño inicial

Sabiendo el desplazamiento entre alojamientos (170mm):

- Alojamiento derecho: +7.151 mm
- Alojamiento izquierdo: - 7.151 mm

Aplicamos la siguiente ecuación:

$$\alpha = \arctan \left((7.151 + 7.151) / 170 \right) = 4.808^\circ$$

4.2. Grado de rigidez torsional basculante diseño final

Sabiendo el desplazamiento entre alojamientos (170mm):

- Alojamiento derecho: + 3.376 mm
- Alojamiento izquierdo: - 3.376 mm

Aplicamos la ecuación:

$$\alpha = \arctan \left((3.376 + 3.376) / 170 \right) = 2.274^\circ$$



ANEXO 3

ESTUDIOS PREVIOS

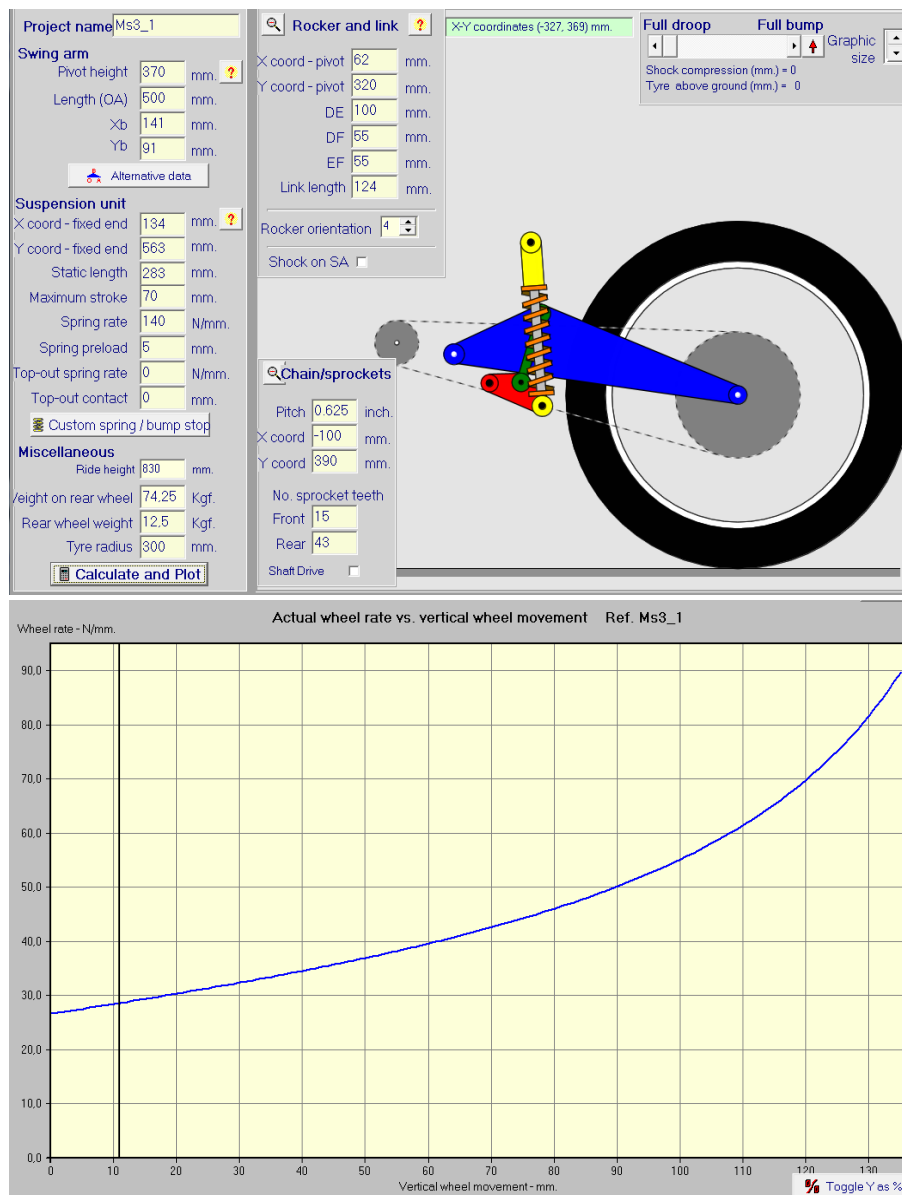
SUSPENSION

TRASERA

Para llegar a la conclusión final del sistema de suspensión trasera buscado, se realiza una serie estudios previos hasta llegar a la conclusión final. Dependiendo del nivel de destreza y los conocimientos previos se puede llegar con más rapidez al resultado final. A continuación se van a exponer una serie de estudios previos realizados para llegar al sistema de suspensión final.

Debido a la cantidad de datos que ofrece el programa, solo se van a mostrar la gráfica de constante efectiva de la rueda y los datos en forma de tabla.

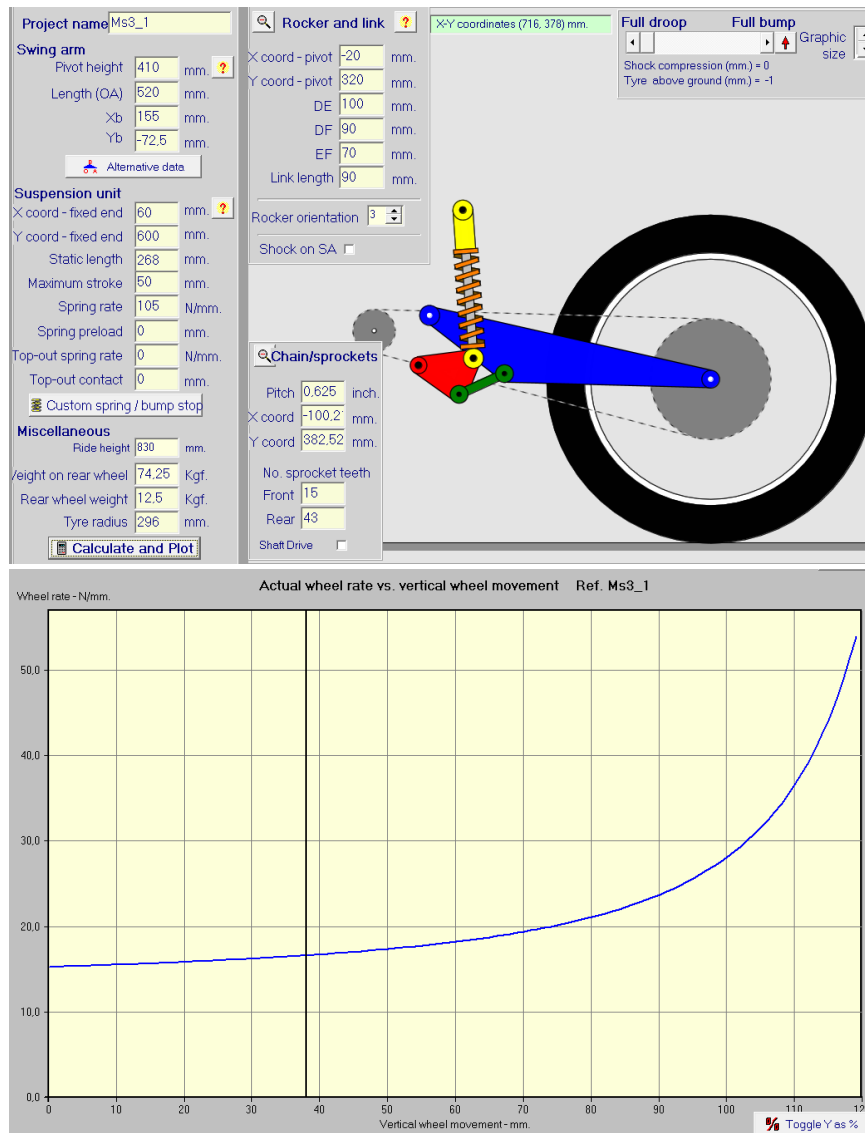
1. SISTEMA I



Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rocker load tota	Rocker load vert	Rocker load hor
0	0.0000	0.4330	26.8417	700.000	303.0992	908.14	-842.08	-340.02	593.40	447.30	389.93
1	0.4335	0.4340	27.0194	760.688	330.1187	990.33	-918.89	-369.32	648.58	490.67	424.14
2	0.8679	0.4349	27.1978	821.513	357.3165	1073.27	-996.49	-398.66	704.50	534.88	458.50
3	1.3034	0.4359	27.3769	882.474	384.6933	1156.97	-1074.88	-428.04	761.15	579.92	493.00
4	1.7398	0.4369	27.5566	943.572	412.2499	1241.43	-1154.07	-457.46	818.56	625.82	527.63
5	2.1772	0.4379	27.7370	1004.807	439.9869	1326.64	-1234.05	-486.92	876.73	672.57	562.41
6	2.6156	0.4389	27.9200	1066.179	467.9069	1412.63	-1314.85	-516.43	935.65	720.17	597.33
7	3.0549	0.4398	28.1022	1127.689	496.0091	1499.40	-1396.46	-545.98	995.36	768.65	632.39
8	3.4953	0.4408	28.2832	1189.336	524.2922	1586.95	-1478.89	-575.57	1055.83	818.00	667.59
9	3.9366	0.4418	28.4688	1251.120	552.7610	1675.28	-1562.14	-605.21	1117.10	868.22	702.93
10	4.3789	0.4428	28.6557	1313.043	581.4167	1764.42	-1646.23	-634.90	1179.16	919.34	738.41
11	4.8222	0.4438	28.8392	1375.105	610.2559	1854.36	-1731.15	-664.64	1242.03	971.34	774.04
12	5.2665	0.4448	29.0267	1437.304	639.2826	1945.10	-1816.92	-694.42	1305.71	1024.25	809.80
13	5.7117	0.4458	29.2155	1499.643	668.4980	2036.67	-1903.54	-724.26	1370.21	1078.07	845.72
14	6.1580	0.4468	29.4027	1562.120	697.9008	2129.06	-1991.02	-754.15	1435.53	1132.80	881.77
15	6.6053	0.4478	29.5921	1624.737	727.4929	2222.29	-2079.37	-784.09	1501.70	1188.46	917.97
16	7.0535	0.4488	29.7838	1687.493	757.2767	2316.35	-2168.58	-814.09	1568.71	1245.04	954.32
17	7.5028	0.4498	29.9769	1750.389	787.2536	2411.26	-2258.67	-844.14	1636.58	1302.57	990.81
18	7.9530	0.4508	30.1697	1813.426	817.4233	2507.03	-2349.65	-874.25	1705.31	1361.04	1027.45
19	8.4043	0.4518	30.3620	1876.603	847.7853	2603.66	-2441.53	-904.42	1774.92	1420.47	1064.24
20	8.8566	0.4528	30.5583	1939.920	878.3436	2701.16	-2534.30	-934.65	1845.41	1480.87	1101.18
21	9.3099	0.4538	30.7563	2003.379	909.1000	2799.54	-2627.99	-964.94	1916.80	1542.23	1138.26
22	9.7641	0.4548	30.9520	2066.979	940.0519	2898.82	-2722.59	-995.30	1989.09	1604.58	1175.50
23	10.2194	0.4558	31.1523	2130.722	971.2043	2998.99	-2818.12	-1025.73	2062.29	1667.92	1212.89
24	10.6758	0.4568	31.3542	2194.606	1002.5585	3100.06	-2914.58	-1056.22	2136.42	1732.26	1250.43
25	11.1331	0.4578	31.5537	2258.634	1034.1122	3202.06	-3011.99	-1086.79	2211.49	1797.62	1288.12
26	11.5915	0.4589	31.7543	2322.804	1065.8665	3304.99	-3110.35	-1117.42	2287.50	1863.99	1325.97
27	12.0508	0.4599	31.9620	2387.117	1097.8285	3408.84	-3209.67	-1148.13	2364.46	1931.39	1363.98
28	12.5113	0.4609	32.1698	2451.575	1129.9983	3513.64	-3309.96	-1178.92	2442.40	1999.83	1402.14
29	12.9727	0.4620	32.3746	2516.177	1162.3729	3619.40	-3411.23	-1209.79	2521.31	2069.32	1440.47
30	13.4352	0.4630	32.5830	2580.924	1194.9559	3726.13	-3513.48	-1240.74	2601.22	2139.87	1478.95
31	13.8987	0.4640	32.7953	2645.816	1227.7512	3833.82	-3616.74	-1271.78	2682.13	2211.49	1517.60
Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rocker load tota	Rocker load vert	Rocker load hor
32	14.3632	0.4651	33.0071	2710.854	1260.7583	3942.51	-3721.00	-1302.90	2764.05	2284.20	1556.41
33	14.8288	0.4661	33.2177	2776.038	1293.9760	4052.20	-3826.29	-1334.12	2847.01	2358.00	1595.39
34	15.2955	0.4672	33.4374	2841.368	1327.4133	4162.89	-3932.60	-1365.42	2931.00	2432.91	1634.53
35	15.7632	0.4682	33.6543	2906.846	1361.0676	4274.62	-4039.95	-1396.82	3016.05	2508.94	1673.85
36	16.2319	0.4693	33.8674	2972.472	1394.9351	4387.37	-4148.36	-1428.32	3102.16	2586.10	1713.34
37	16.7018	0.4703	34.0925	3038.246	1429.0276	4501.16	-4257.83	-1459.92	3189.36	2664.40	1753.00
38	17.1726	0.4714	34.3175	3104.169	1463.3451	4616.02	-4368.37	-1491.63	3277.65	2743.85	1792.83
39	17.6446	0.4725	34.5389	3170.242	1497.8840	4731.94	-4480.00	-1523.44	3367.05	2824.48	1832.85
40	18.1176	0.4736	34.7646	3236.464	1532.6487	4848.96	-4592.73	-1555.37	3457.57	2906.29	1873.04
41	18.5917	0.4746	34.9940	3302.837	1567.6427	4967.06	-4706.57	-1587.41	3549.23	2989.29	1913.42
42	19.0669	0.4757	35.2256	3369.362	1602.8683	5086.28	-4821.53	-1619.57	3642.04	3073.51	1953.98
43	19.5431	0.4768	35.4576	3436.039	1638.3259	5206.62	-4937.64	-1651.86	3736.03	3158.95	1994.73
44	20.0205	0.4779	35.6919	3502.868	1674.0178	5328.10	-5054.89	-1684.27	3831.20	3245.63	2035.68
45	20.4989	0.4790	35.9285	3569.850	1709.9463	5450.73	-5173.30	-1716.81	3927.57	3333.56	2076.81
46	20.9785	0.4801	36.1688	3636.987	1746.1151	5574.54	-5292.90	-1749.48	4025.15	3422.77	2118.14
47	21.4591	0.4812	36.4117	3704.278	1782.5269	5699.52	-5413.68	-1782.30	4123.98	3513.26	2159.67
48	21.9409	0.4823	36.6536	3771.725	1819.1804	5825.71	-5535.68	-1815.26	4224.05	3605.06	2201.41
49	22.4238	0.4834	36.9012	3839.328	1856.0817	5953.11	-5658.89	-1848.36	4325.40	3698.17	2243.35
50	22.9078	0.4846	37.1500	3907.088	1893.2317	6081.75	-5783.35	-1881.62	4428.04	3792.63	2285.50
51	23.3929	0.4857	37.4010	3975.006	1930.6327	6211.63	-5909.06	-1915.04	4531.98	3888.43	2327.86
52	23.8792	0.4868	37.6586	4043.082	1968.2913	6342.78	-6036.04	-1948.62	4637.25	3985.62	2370.43
53	24.3666	0.4880	37.9136	4111.318	2006.2048	6475.22	-6164.31	-1982.36	4743.87	4084.19	2413.23
54	24.8551	0.4891	38.1730	4179.714	2044.3778	6608.96	-6293.88	-2016.28	4851.85	4184.17	2456.25
55	25.3448	0.4903	38.4374	4248.271	2082.8152	6744.02	-6424.78	-2050.38	4961.23	4285.59	2499.50
56	25.8356	0.4914	38.7026	4316.991	2121.5178	6880.43	-6557.01	-2084.66	5072.01	4388.45	2542.99
57	26.3277	0.4926	38.9722	4385.873	2160.4900	7018.19	-6690.61	-2119.13	5184.23	4492.79	2586.71
58	26.8209	0.4938	39.2449	4454.919	2199.7349	7157.34	-6825.58	-2153.80	5297.90	4598.62	2630.67
59	27.3152	0.4950	39.5195	4524.130	2239.2544	7297.89	-6961.96	-2188.68	5413.04	4705.96	2674.87
60	27.8108	0.4961	39.7979	4593.507	2279.0522	7439.86	-7099.75	-2223.76	5529.69	4814.84	2719.33
61	28.3075	0.4973	40.0815	4663.051	2319.1338	7583.28	-7238.98	-2259.05	5647.87	4925.29	2764.05
62	28.8055	0.4985	40.3667	4732.763	2359.5005	7728.17	-7379.67	-2294.57	5767.59	5037.31	2809.02
63	29.3046	0.4998	40.6558	4802.644	2400.1562	7874.55	-7521.85	-2330.32	5888.89	5150.94	2854.26

Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rockers load tota	Rockers load vert	Rockers load hor
64	29.8050	0.5010	40.9502	4872.695	2441.1064	8022.45	-7665.53	-2366.30	6011.79	5266.21	2899.77
65	30.3066	0.5022	41.2463	4942.918	2482.3528	8171.89	-7810.74	-2402.53	6136.33	5383.14	2945.57
66	30.8094	0.5034	41.5479	5013.312	2523.9006	8322.90	-7957.50	-2439.01	6262.52	5501.75	2991.64
67	31.3134	0.5047	41.8528	5083.881	2565.7534	8475.50	-8105.84	-2475.76	6390.40	5622.07	3038.01
68	31.8187	0.5059	42.1624	5154.624	2607.9158	8629.71	-8255.78	-2512.77	6519.99	5744.14	3084.67
69	32.3253	0.5072	42.4766	5225.543	2650.3923	8785.58	-8407.35	-2550.06	6651.34	5867.98	3131.63
70	32.8331	0.5085	42.7937	5296.640	2693.1860	8943.12	-8560.58	-2587.63	6784.46	5993.61	3178.91
71	33.3423	0.5098	43.1174	5367.915	2736.3035	9102.37	-8715.49	-2625.50	6919.39	6121.08	3226.50
72	33.8526	0.5110	43.4443	5439.370	2779.7478	9263.35	-8872.12	-2663.68	7056.17	6250.41	3274.42
73	34.3643	0.5123	43.7776	5511.007	2823.5254	9426.09	-9030.48	-2702.17	7194.82	6381.64	3322.67
74	34.8773	0.5137	44.1145	5582.826	2867.6399	9590.64	-9190.61	-2740.98	7335.39	6514.79	3371.27
75	35.3916	0.5150	44.4573	5654.830	2912.0972	9757.02	-9352.55	-2780.13	7477.91	6649.91	3420.21
76	35.9073	0.5163	44.8052	5727.020	2956.9023	9925.26	-9516.33	-2819.63	7622.42	6787.03	3469.51
77	36.4243	0.5177	45.1584	5799.396	3002.0608	10095.40	-9681.97	-2859.49	7768.96	6926.19	3519.18
78	36.9426	0.5190	45.5193	5871.961	3047.5801	10267.48	-9849.51	-2899.71	7917.56	7067.42	3569.22
79	37.4623	0.5204	45.8845	5944.718	3093.4646	10441.54	-10018.99	-2940.32	8068.27	7210.76	3619.65
80	37.9833	0.5218	46.2539	6017.666	3139.7185	10617.61	-10190.45	-2981.32	8221.13	7356.26	3670.48
81	38.5058	0.5231	46.6326	6090.808	3186.3511	10795.73	-10363.92	-3022.73	8376.19	7503.96	3721.71
82	39.0296	0.5245	47.0171	6164.145	3233.3682	10975.94	-10539.44	-3064.56	8533.48	7653.89	3773.36
83	39.5549	0.5260	47.4075	6237.680	3280.7756	11158.29	-10717.05	-3106.82	8693.07	7806.12	3825.44
84	40.0815	0.5274	47.8074	6311.414	3328.5830	11342.82	-10896.79	-3149.54	8854.99	7960.67	3877.96
85	40.6096	0.5288	48.2119	6385.350	3376.7949	11529.59	-11078.72	-3192.71	9019.30	8117.61	3930.93
86	41.1392	0.5303	48.6211	6459.488	3425.4160	11718.62	-11262.86	-3236.37	9186.05	8276.97	3984.37
87	41.6702	0.5318	49.0444	6533.832	3474.4604	11909.97	-11449.26	-3280.52	9355.29	8438.82	4038.29
88	42.2027	0.5333	49.4729	6608.382	3523.9333	12103.70	-11637.99	-3325.18	9527.08	8603.20	4092.70
89	42.7367	0.5348	49.9087	6683.142	3573.8420	12299.86	-11829.07	-3370.38	9701.48	8770.17	4147.62
90	43.2722	0.5363	50.3562	6758.113	3624.1982	12498.48	-12022.57	-3416.12	9878.54	8939.79	4203.06
91	43.8093	0.5378	50.8091	6833.298	3675.0073	12699.66	-12218.54	-3462.43	10058.33	9112.12	4259.03
92	44.3479	0.5394	51.2681	6908.700	3726.2754	12903.42	-12417.04	-3509.32	10240.92	9287.21	4315.56
93	44.8880	0.5409	51.7437	6984.319	3778.0190	13109.84	-12618.12	-3556.82	10426.36	9465.14	4372.66
94	45.4297	0.5425	52.2317	7060.160	3830.2507	13318.96	-12821.82	-3604.95	10614.74	9645.96	4430.35
95	45.9730	0.5441	52.7207	7136.224	3882.9714	13530.88	-13028.24	-3653.73	10806.12	9829.76	4488.65
Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rockers load tota	Rockers load vert	Rockers load hor
96	46.5180	0.5457	53.2231	7212.514	3936.1946	13745.64	-13237.42	-3703.17	11000.57	10016.59	4547.57
97	47.0645	0.5474	53.7412	7289.033	3989.9358	13963.33	-13449.43	-3753.32	11198.18	10206.54	4607.14
98	47.6127	0.5491	54.2664	7365.783	4044.2021	14184.01	-13664.34	-3804.18	11399.02	10399.68	4667.38
99	48.1626	0.5507	54.8037	7442.767	4099.0059	14407.76	-13882.23	-3855.79	11603.19	10596.09	4728.30
100	48.7142	0.5524	55.3579	7519.989	4154.3638	14634.64	-14103.15	-3908.18	11810.76	10795.86	4789.94
101	49.2675	0.5542	55.9204	7597.451	4210.2842	14864.77	-14327.22	-3961.36	12021.83	10999.07	4852.31
102	49.8225	0.5559	56.5054	7675.157	4266.7896	15098.19	-14554.45	-4015.38	12236.50	11205.82	4915.44
103	50.3794	0.5577	57.0928	7753.109	4323.8823	15335.05	-14785.02	-4070.25	12454.86	11416.20	4979.35
104	50.9379	0.5595	57.6938	7831.312	4381.5762	15575.38	-15018.94	-4126.02	12677.01	11630.30	5044.08
105	51.4983	0.5613	58.3228	7909.768	4439.8989	15819.33	-15256.34	-4182.71	12903.07	11848.24	5109.66
106	52.0606	0.5632	58.9604	7988.481	4498.8594	16066.95	-15497.30	-4240.37	13133.15	12070.12	5176.10
107	52.6247	0.5650	59.6138	8067.455	4558.4731	16318.40	-15741.94	-4299.02	13367.37	12296.04	5243.45
108	53.1907	0.5669	60.2856	8146.693	4618.7588	16573.74	-15990.33	-4358.71	13605.84	12526.15	5311.74
109	53.7586	0.5689	60.9932	8226.201	4679.7520	16833.10	-16242.58	-4419.47	13848.70	12760.54	5381.00
110	54.3284	0.5708	61.6934	8305.980	4741.4453	17096.64	-16498.87	-4481.35	14096.09	12999.36	5451.26
111	54.9003	0.5728	62.4146	8386.038	4803.8599	17364.44	-16759.25	-4544.39	14348.14	13242.74	5522.57
112	55.4741	0.5749	63.1729	8466.376	4867.0327	17636.66	-17023.87	-4608.63	14605.00	13490.82	5594.97
113	56.0500	0.5769	63.9551	8547.000	4930.9878	17913.40	-17292.85	-4674.14	14866.83	13743.75	5668.50
114	56.6280	0.5790	64.7520	8627.916	4995.7397	18194.87	-17566.35	-4740.94	15133.79	14001.69	5743.20
115	57.2080	0.5812	65.5718	8709.126	5061.3115	18481.16	-17844.49	-4809.11	15406.06	14264.80	5819.12
116	57.7903	0.5833	66.4185	8790.638	5127.7300	18772.49	-18127.46	-4878.70	15683.81	14533.25	5896.32
117	58.3747	0.5855	67.2910	8872.455	5195.0210	19068.98	-18415.37	-4949.75	15967.23	14807.22	5974.83
118	58.9613	0.5878	68.2017	8954.584	5263.2227	19370.83	-18708.42	-5022.35	16256.53	15086.92	6054.72
119	59.5502	0.5901	69.1338	9037.030	5332.3564	19678.22	-19006.78	-5096.55	16551.91	15372.52	6136.05
120	60.1414	0.5924	70.0869	9119.800	5402.4434	19991.39	-19310.66	-5172.42	16853.59	15664.26	6218.88
121	60.7350	0.5948	71.1040	9202.898	5473.5474	20310.45	-19620.18	-5250.03	17161.82	15962.36	6303.27
122	61.3310	0.5972	72.1343	9286.333	5545.6816	20635.75	-19935.67	-5329.47	17476.83	16267.04	6389.29
123	61.9294	0.5997	73.1934	9370.110	5618.8750	20967.42	-20257.24	-5410.82	17798.90	16578.57	6477.02
124	62.5303	0.6022	74.3232	9454.238	5693.1982	21305.75	-20585.17	-5494.16	18128.29	16897.21	6566.53
125	63.1337	0.6048	75.4624	9538.723	5768.6606	21651.02	-20919.72	-5579.58	18465.30	17223.23	6657.91
126	63.7398	0.6074	76.6562	9623.571	5845.3169	22003.46	-21261.13	-5667.18	18810.25	17556.94	6751.24
127	64.3485	0.6101	77.9189	9708.793	5923.2358	22363.39	-21609.66	-5757.07	19163.46	17898.66	6846.63

2. SISTEMA II

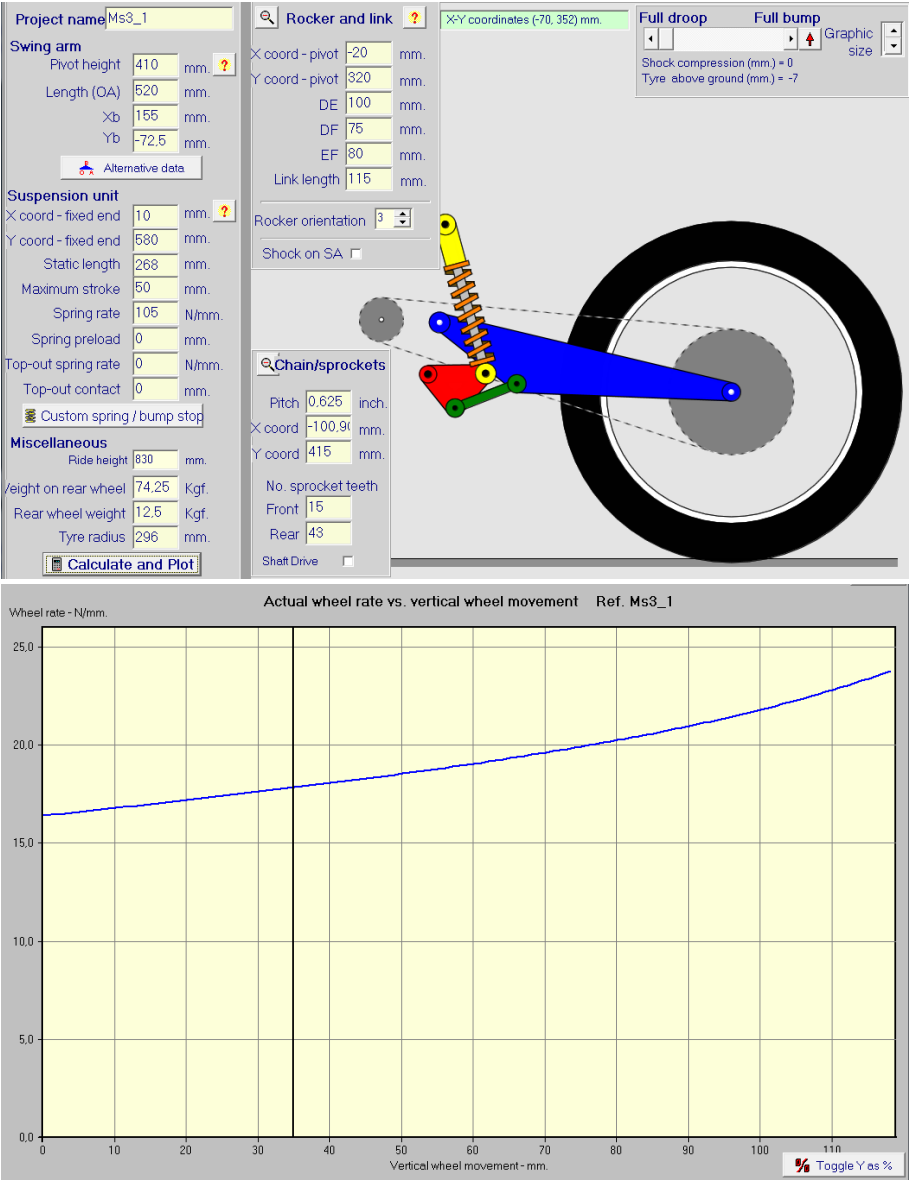


“II Competición Internacional Motostudent”

Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rocker load tota	Rocker load vert	Rocker load hori.
0	0.0000	0.3827	15.3671	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.3828	0.3829	15.3911	40.195	15.3911	47.42	-6.02	-47.03	53.29	-18.67	49.91
2	0.7658	0.3831	15.4157	80.411	30.8068	95.08	-12.11	-94.30	106.76	-37.28	100.04
3	1.1490	0.3833	15.4404	120.649	46.2473	142.98	-18.25	-141.81	160.43	-55.83	150.40
4	1.5325	0.3835	15.4656	160.909	61.7128	191.12	-24.45	-189.55	214.30	-74.32	201.00
5	1.9161	0.3837	15.4915	201.190	77.2044	239.52	-30.71	-237.54	268.37	-92.75	251.83
6	2.2999	0.3840	15.5178	241.494	92.7221	288.17	-37.03	-285.78	322.64	-111.11	302.90
7	2.6840	0.3842	15.5448	281.820	108.2670	337.07	-43.40	-334.26	377.12	-129.42	354.21
8	3.0683	0.3844	15.5718	322.170	123.8388	386.24	-49.83	-383.01	431.80	-147.66	405.77
9	3.4528	0.3846	15.5993	362.542	139.4381	435.67	-56.32	-432.01	486.71	-165.84	457.58
10	3.8375	0.3848	15.6288	402.938	155.0668	485.37	-62.86	-481.28	541.83	-183.97	509.64
11	4.2225	0.3851	15.6565	443.358	170.7233	535.34	-69.46	-530.81	597.17	-202.03	561.95
12	4.6076	0.3853	15.6863	483.802	186.4096	585.59	-76.11	-580.62	652.73	-220.04	614.53
13	4.9931	0.3855	15.7172	524.272	202.1268	636.12	-82.81	-630.71	708.53	-237.99	667.37
14	5.3787	0.3858	15.7461	564.766	217.8729	686.94	-89.57	-681.08	764.56	-255.88	720.47
15	5.7646	0.3860	15.7788	605.285	233.6517	738.05	-96.39	-731.73	820.83	-273.71	773.85
16	6.1508	0.3863	15.8108	645.830	249.4625	789.46	-103.25	-782.68	877.33	-291.48	827.50
17	6.5371	0.3865	15.8422	686.401	265.3047	841.17	-110.17	-833.92	934.09	-309.19	881.43
18	6.9238	0.3868	15.8763	726.998	281.1810	893.18	-117.14	-885.47	991.09	-326.85	935.65
19	7.3107	0.3870	15.9102	767.622	297.0912	945.51	-124.16	-937.32	1048.35	-344.45	990.15
20	7.6978	0.3873	15.9447	808.274	313.0359	998.15	-131.24	-989.49	1105.87	-361.99	1044.95
21	8.0853	0.3876	15.9787	848.953	329.0145	1051.12	-138.36	-1041.97	1163.66	-379.48	1100.04
22	8.4730	0.3878	16.0171	889.660	345.0316	1104.41	-145.53	-1094.78	1221.71	-396.91	1155.44
23	8.8609	0.3881	16.0541	930.396	361.0857	1158.04	-152.75	-1147.92	1280.04	-414.28	1211.15
24	9.2492	0.3884	16.0902	971.161	377.1760	1212.01	-160.02	-1201.40	1338.66	-431.59	1267.17
25	9.6377	0.3887	16.1287	1011.955	393.3047	1266.33	-167.35	-1255.22	1397.55	-448.85	1323.51
26	10.0265	0.3889	16.1693	1052.779	409.4740	1321.00	-174.71	-1309.39	1456.74	-466.06	1380.18
27	10.4156	0.3892	16.2098	1093.634	425.6838	1376.03	-182.13	-1363.92	1516.23	-483.21	1437.18
28	10.8049	0.3895	16.2490	1134.519	441.9328	1431.42	-189.59	-1418.81	1576.03	-500.30	1494.51
29	11.1946	0.3898	16.2927	1175.436	458.2256	1487.19	-197.10	-1474.07	1636.13	-517.34	1552.19
30	11.5846	0.3901	16.3358	1216.384	474.5613	1543.34	-204.65	-1529.71	1696.55	-534.32	1610.21
31	11.9749	0.3905	16.3798	1257.365	490.9412	1599.88	-212.25	-1585.74	1757.29	-551.25	1668.59
32	12.3655	0.3908	16.4248	1298.379	507.3660	1656.82	-219.89	-1642.16	1818.37	-568.12	1727.34
33	12.7564	0.3911	16.4730	1339.427	523.8390	1714.15	-227.57	-1698.98	1879.78	-584.94	1786.45
34	13.1477	0.3914	16.5184	1380.509	540.3574	1771.91	-235.31	-1756.21	1941.54	-601.70	1845.95
35	13.5393	0.3918	16.5666	1421.625	556.9240	1830.08	-243.08	-1813.86	2003.65	-618.41	1905.83
36	13.9312	0.3921	16.6163	1462.776	573.5402	1888.68	-250.90	-1871.94	2066.12	-635.06	1966.10
37	14.3235	0.3924	16.6692	1503.964	590.2094	1947.72	-258.75	-1930.46	2128.95	-651.65	2026.77
38	14.7161	0.3928	16.7216	1545.188	606.9310	2007.21	-266.65	-1989.42	2192.17	-668.20	2087.85
39	15.1090	0.3931	16.7702	1586.449	623.7012	2067.16	-274.59	-2048.84	2255.77	-684.68	2149.35
40	15.5024	0.3935	16.8296	1627.748	640.5308	2127.58	-282.57	-2108.73	2319.77	-701.12	2211.28
41	15.8961	0.3939	16.8861	1669.086	657.4169	2188.47	-290.59	-2169.09	2384.17	-717.49	2273.65
42	16.2901	0.3943	16.9412	1710.462	674.3582	2249.86	-298.64	-2229.95	2448.99	-733.81	2336.46
43	16.6846	0.3946	17.0030	1751.879	691.3611	2311.74	-306.74	-2291.30	2514.23	-750.08	2399.73
44	17.0794	0.3950	17.0640	1793.337	708.4251	2374.13	-314.87	-2353.16	2579.90	-766.29	2463.47
45	17.4746	0.3954	17.1265	1834.836	725.5516	2437.05	-323.04	-2415.55	2646.02	-782.45	2527.69
46	17.8703	0.3958	17.1908	1876.377	742.7424	2500.51	-331.24	-2478.47	2712.60	-798.55	2592.39
47	18.2663	0.3963	17.2567	1917.962	759.9991	2564.51	-339.48	-2541.94	2779.64	-814.59	2657.60
48	18.6628	0.3967	17.3217	1959.591	777.3209	2629.08	-347.76	-2605.98	2847.17	-830.58	2723.32
49	19.0597	0.3971	17.3943	2001.264	794.7152	2694.22	-356.06	-2670.59	2915.18	-846.51	2789.57
50	19.4570	0.3975	17.4677	2042.983	812.1829	2759.96	-364.41	-2735.79	2983.70	-862.38	2856.36
51	19.8547	0.3980	17.5385	2084.749	829.7214	2826.30	-372.78	-2801.60	3052.75	-878.19	2923.70
52	20.2530	0.3985	17.6161	2126.562	847.3376	2893.26	-381.19	-2868.04	3122.32	-893.95	2991.61
53	20.6517	0.3989	17.6943	2168.424	865.0319	2960.85	-389.62	-2935.11	3192.45	-909.65	3060.11
54	21.0508	0.3994	17.7751	2210.336	882.8070	3029.10	-398.09	-3002.83	3263.13	-925.29	3129.20
55	21.4505	0.3999	17.8583	2252.298	900.6653	3098.03	-406.59	-3071.23	3334.40	-940.87	3198.90
56	21.8506	0.4004	17.9456	2294.312	918.6109	3167.64	-415.11	-3140.32	3406.26	-956.39	3269.24
57	22.2512	0.4009	18.0323	2336.379	936.6432	3237.96	-423.66	-3210.12	3478.74	-971.85	3340.23
58	22.6524	0.4014	18.1215	2378.500	954.7648	3309.01	-432.24	-3280.65	3551.84	-987.25	3411.88
59	23.0541	0.4019	18.2175	2420.676	972.9822	3380.80	-440.84	-3351.94	3625.60	-1002.58	3484.22
60	23.4563	0.4025	18.3165	2462.909	991.2988	3453.37	-449.47	-3423.99	3700.02	-1017.85	3557.27
61	23.8590	0.4030	18.4149	2505.199	1009.7136	3526.73	-458.13	-3496.84	3775.14	-1033.06	3631.04
62	24.2624	0.4036	18.5186	2547.549	1028.2322	3600.90	-466.80	-3570.51	3850.97	-1048.20	3705.57
63	24.6663	0.4042	18.6277	2589.959	1046.8599	3675.91	-475.49	-3645.03	3927.53	-1063.28	3780.86

Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rockers load tota	Rockers load vert	Rockers load hori
64	25.0708	0.4048	18.7365	2632.431	1065.5963	3751.79	-484.21	-3720.42	4004.85	-1078.28	3856.96
65	25.4759	0.4054	18.8490	2674.966	1084.4453	3828.57	-492.95	-3796.70	4082.95	-1093.22	3933.87
66	25.8816	0.4060	18.9718	2717.566	1103.4171	3906.26	-501.70	-3873.91	4161.86	-1108.09	4011.64
67	26.2879	0.4067	19.0927	2760.232	1122.5098	3984.90	-510.48	-3952.07	4241.61	-1122.89	4090.28
68	26.6949	0.4073	19.2197	2802.967	1141.7295	4064.52	-519.27	-4031.22	4322.22	-1137.61	4169.82
69	27.1026	0.4080	19.3541	2845.771	1161.0836	4145.16	-528.07	-4111.38	4403.72	-1152.25	4250.30
70	27.5109	0.4087	19.4862	2888.647	1180.5698	4226.84	-536.89	-4192.60	4486.14	-1166.82	4331.75
71	27.9200	0.4094	19.6305	2931.597	1200.2003	4309.60	-545.72	-4274.91	4569.53	-1181.31	4414.19
72	28.3297	0.4101	19.7804	2974.622	1219.9807	4393.48	-554.56	-4358.34	4653.91	-1195.72	4497.68
73	28.7402	0.4109	19.9310	3017.724	1239.9117	4478.52	-563.41	-4442.94	4739.31	-1210.04	4582.23
74	29.1515	0.4116	20.0879	3060.906	1259.9996	4564.76	-572.28	-4528.75	4825.78	-1224.28	4667.90
75	29.5635	0.4124	20.2556	3104.169	1280.2552	4652.24	-581.14	-4615.80	4913.36	-1238.42	4754.73
76	29.9763	0.4132	20.4277	3147.516	1300.6830	4741.01	-590.01	-4704.16	5002.09	-1252.48	4842.75
77	30.3900	0.4141	20.6071	3190.950	1321.2900	4831.12	-598.88	-4793.86	5092.02	-1266.44	4932.02
78	30.8045	0.4149	20.7938	3234.472	1342.0839	4922.62	-607.76	-4884.96	5183.19	-1280.29	5022.58
79	31.2199	0.4158	20.9858	3278.085	1363.0697	5015.56	-616.64	-4977.51	5275.66	-1294.05	5114.49
80	31.6361	0.4167	21.1917	3321.793	1384.2614	5110.00	-625.51	-5071.57	5369.47	-1307.70	5207.80
81	32.0533	0.4177	21.4036	3365.597	1405.6649	5206.00	-634.38	-5167.21	5464.69	-1321.23	5302.56
82	32.4714	0.4186	21.6252	3409.501	1427.2902	5303.63	-643.24	-5264.48	5561.37	-1334.66	5398.85
83	32.8905	0.4196	21.8552	3453.507	1449.1454	5402.95	-652.09	-5363.45	5659.59	-1347.95	5496.72
84	33.3107	0.4206	22.0961	3497.620	1471.2415	5504.03	-660.94	-5464.21	5759.40	-1361.13	5596.25
85	33.7318	0.4217	22.3512	3541.842	1493.5927	5606.96	-669.77	-5566.82	5860.88	-1374.16	5697.51
86	34.1541	0.4228	22.6154	3586.177	1516.2080	5711.82	-678.59	-5671.36	5964.11	-1387.06	5800.58
87	34.5774	0.4239	22.8958	3630.628	1539.1038	5818.68	-687.38	-5777.94	6069.17	-1399.81	5905.54
88	35.0019	0.4251	23.1881	3675.200	1562.2919	5927.66	-696.16	-5886.64	6176.16	-1412.41	6012.49
89	35.4276	0.4263	23.4941	3719.897	1585.7860	6038.84	-704.91	-5997.55	6285.15	-1424.85	6121.51
90	35.8545	0.4275	23.8175	3764.723	1609.6035	6152.33	-713.64	-6110.80	6396.26	-1437.11	6232.73
91	36.2827	0.4288	24.1576	3809.683	1633.7611	6268.25	-722.33	-6226.49	6509.60	-1449.19	6346.24
92	36.7122	0.4302	24.5164	3854.781	1658.2775	6386.73	-730.99	-6344.76	6625.28	-1461.09	6462.16
93	37.1431	0.4316	24.8947	3900.022	1683.1721	6507.88	-739.62	-6465.72	6743.42	-1472.77	6580.63
94	37.5754	0.4330	25.2941	3945.412	1708.4662	6631.87	-748.20	-6589.53	6864.17	-1484.24	6701.78
95	38.0091	0.4345	25.7146	3990.957	1734.1808	6758.83	-756.74	-6716.34	6987.67	-1495.48	6825.76
96	38.4444	0.4361	26.1619	4036.663	1760.3427	6888.95	-765.23	-6846.31	7114.07	-1506.48	6952.74
97	38.8813	0.4377	26.6371	4082.536	1786.9797	7022.39	-773.66	-6979.64	7243.56	-1517.21	7082.88
98	39.3198	0.4394	27.1384	4128.583	1814.1182	7159.35	-782.03	-7116.51	7376.32	-1527.66	7216.39
99	39.7601	0.4412	27.6708	4174.811	1841.7889	7300.04	-790.34	-7257.13	7512.54	-1537.82	7353.46
100	40.2022	0.4430	28.2402	4221.228	1870.0292	7444.70	-798.57	-7401.75	7652.45	-1547.65	7494.32
101	40.6461	0.4449	28.8472	4267.842	1898.8763	7593.58	-806.73	-7550.60	7796.30	-1557.13	7639.22
102	41.0920	0.4469	29.4932	4314.663	1928.3695	7746.94	-814.80	-7703.97	7944.35	-1566.24	7788.42
103	41.5400	0.4490	30.1840	4361.698	1958.5535	7905.10	-822.78	-7862.17	8096.88	-1574.94	7942.23
104	41.9901	0.4512	30.9240	4408.960	1989.4774	8068.39	-830.67	-8025.52	8254.21	-1583.21	8100.96
105	42.4425	0.4535	31.7198	4456.458	2021.1973	8237.17	-838.44	-8194.38	8416.71	-1591.00	8264.97
106	42.8972	0.4560	32.5747	4504.204	2053.7720	8411.84	-846.09	-8369.18	8584.76	-1598.27	8434.67
107	43.3544	0.4585	33.4944	4552.211	2087.2664	8592.85	-853.61	-8550.35	8758.78	-1604.98	8610.48
108	43.8142	0.4612	34.4900	4600.493	2121.7563	8780.70	-861.00	-8738.39	8939.27	-1611.08	8792.90
109	44.2768	0.4640	35.5654	4649.063	2157.3218	8975.95	-868.23	-8933.86	9126.76	-1616.49	8982.47
110	44.7423	0.4670	36.7334	4697.939	2194.0552	9179.22	-875.30	-9137.39	9321.86	-1621.17	9179.81
111	45.2108	0.4702	38.0042	4747.139	2232.0593	9391.20	-882.19	-9349.68	9525.24	-1625.03	9385.60
112	45.6827	0.4735	39.3904	4796.680	2271.4497	9612.69	-888.87	-9571.51	9737.67	-1627.98	9600.61
113	46.1579	0.4771	40.9070	4846.583	2312.3567	9844.58	-895.35	-9803.79	9960.01	-1629.93	9825.74
114	46.6369	0.4809	42.5723	4896.873	2354.9290	10087.89	-901.58	-10047.53	10193.27	-1630.76	10061.98
115	47.1197	0.4850	44.4077	4947.573	2399.3367	10343.79	-907.55	-10303.90	10438.58	-1630.34	10310.48
116	47.6068	0.4893	46.4370	4998.713	2445.7737	10613.62	-913.24	-10574.25	10697.26	-1628.51	10572.58
117	48.0983	0.4939	48.6904	5050.322	2494.4641	10898.93	-918.62	-10860.14	10970.82	-1625.09	10849.79
118	48.5946	0.4989	51.2041	5102.437	2545.6682	11201.53	-923.64	-11163.39	11261.04	-1619.89	11143.92
119	49.0961	0.5043	54.0212	5155.094	2599.6895	11523.57	-928.28	-11486.12	11570.01	-1612.63	11457.07

3. SISTEMA III



Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rocker load tota	Rocker load vert	Rocker load hori.
0	0.0000	0.3959	16.4421	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.3961	0.3963	16.4809	41.591	16.4809	52.71	-4.22	-52.54	66.34	-19.43	63.43
2	0.7925	0.3966	16.5200	83.215	33.0009	105.65	-8.58	-105.30	132.89	-38.71	127.12
3	1.1893	0.3969	16.5591	124.872	49.5600	158.83	-13.07	-158.29	199.65	-57.84	191.08
4	1.5863	0.3972	16.5983	166.561	66.1583	212.25	-17.68	-211.51	266.62	-76.83	255.30
5	1.9837	0.3975	16.6375	208.284	82.7958	265.91	-22.43	-264.96	333.80	-95.68	319.79
6	2.3813	0.3978	16.6767	250.039	99.4725	319.80	-27.31	-318.64	401.20	-114.37	384.55
7	2.7793	0.3981	16.7165	291.828	116.1890	373.94	-32.32	-372.54	468.81	-132.92	449.57
8	3.1776	0.3985	16.7560	333.649	132.9450	428.33	-37.46	-426.69	536.64	-151.33	514.86
9	3.5762	0.3988	16.7956	375.504	149.7407	482.96	-42.73	-481.06	604.68	-169.59	580.41
10	3.9752	0.3991	16.8353	417.392	166.5760	537.83	-48.13	-535.68	672.95	-187.71	646.24
11	4.3744	0.3994	16.8751	459.312	183.4511	592.96	-53.66	-590.53	741.44	-205.68	712.34
12	4.7740	0.3997	16.9149	501.266	200.3660	648.34	-59.32	-645.62	810.15	-223.51	778.70
13	5.1738	0.4000	16.9556	543.253	217.3216	703.96	-65.11	-700.95	879.08	-241.19	845.34
14	5.5740	0.4004	16.9959	585.274	234.3176	759.85	-71.04	-756.52	948.24	-258.73	912.26
15	5.9746	0.4007	17.0362	627.328	251.3537	815.98	-77.09	-812.33	1017.62	-276.12	979.44
16	6.3754	0.4010	17.0767	669.416	268.4304	872.38	-83.27	-868.39	1087.23	-293.37	1046.91
17	6.7765	0.4013	17.1171	711.536	285.5475	929.03	-89.58	-924.70	1157.08	-310.47	1114.64
18	7.1780	0.4016	17.1590	753.691	302.7065	985.94	-96.02	-981.26	1227.15	-327.44	1182.66
19	7.5798	0.4020	17.1987	795.879	319.9052	1043.12	-102.59	-1038.07	1297.46	-344.26	1250.95
20	7.9819	0.4023	17.2396	838.101	337.1448	1100.57	-109.29	-1095.13	1368.00	-360.93	1319.53
21	8.3843	0.4026	17.2820	880.356	354.4268	1158.27	-116.12	-1152.44	1438.78	-377.46	1388.38
22	8.7871	0.4029	17.3234	922.646	371.7503	1216.25	-123.08	-1210.01	1509.79	-393.85	1457.52
23	9.1902	0.4032	17.3650	964.969	389.1153	1274.50	-130.16	-1267.84	1581.05	-410.10	1526.94
24	9.5936	0.4036	17.4067	1007.326	406.5219	1333.03	-137.38	-1325.93	1652.55	-426.20	1596.64
25	9.9973	0.4039	17.4501	1049.718	423.9720	1391.82	-144.72	-1384.28	1724.29	-442.16	1666.64
26	10.4014	0.4042	17.4908	1092.144	441.4629	1450.90	-152.20	-1442.89	1796.28	-457.98	1736.92
27	10.8057	0.4045	17.5328	1134.603	458.9957	1510.25	-159.81	-1501.78	1868.51	-473.65	1807.48
28	11.2105	0.4049	17.5772	1177.098	476.5729	1569.89	-167.54	-1560.93	1941.00	-489.19	1878.34
29	11.6155	0.4052	17.6180	1219.626	494.1909	1629.81	-175.40	-1620.35	2013.73	-504.58	1949.49
30	12.0209	0.4055	17.6628	1262.189	511.8537	1690.02	-183.39	-1680.04	2086.72	-519.83	2020.94
31	12.4265	0.4059	17.7061	1304.787	529.5598	1750.52	-191.51	-1740.01	2159.97	-534.93	2092.68
32	12.8326	0.4062	17.7495	1347.420	547.3093	1811.31	-199.76	-1800.26	2233.47	-549.90	2164.72
33	13.2389	0.4065	17.7932	1390.087	565.1024	1872.40	-208.14	-1860.79	2307.23	-564.72	2237.05
34	13.6456	0.4069	17.8369	1432.790	582.9393	1933.78	-216.65	-1921.61	2381.26	-579.41	2309.69
35	14.0526	0.4072	17.8834	1475.527	600.8228	1995.46	-225.28	-1982.70	2455.55	-593.95	2382.63
36	14.4600	0.4075	17.9257	1518.300	618.7484	2057.45	-234.05	-2044.09	2530.10	-608.35	2455.88
37	14.8677	0.4079	17.9702	1561.108	636.7186	2119.73	-242.93	-2105.77	2604.93	-622.60	2529.43
38	15.2757	0.4082	18.0151	1603.951	654.7337	2182.33	-251.96	-2167.74	2680.02	-636.72	2603.29
39	15.6841	0.4085	18.0602	1646.830	672.7939	2245.24	-261.11	-2230.01	2755.39	-650.69	2677.46
40	16.0928	0.4089	18.1111	1689.744	690.9050	2308.46	-270.38	-2292.57	2831.04	-664.53	2751.94
41	16.5019	0.4092	18.1518	1732.695	709.0568	2372.00	-279.80	-2355.44	2906.96	-678.22	2826.74
42	16.9112	0.4096	18.1976	1775.681	727.2544	2435.86	-289.33	-2418.62	2983.17	-691.77	2901.85
43	17.3210	0.4099	18.2498	1818.703	745.5042	2500.04	-298.99	-2482.10	3059.66	-705.18	2977.29
44	17.7311	0.4103	18.2910	1861.762	763.7952	2564.55	-308.79	-2545.90	3136.44	-718.45	3053.05
45	18.1415	0.4106	18.3409	1904.857	782.1361	2629.39	-318.70	-2610.00	3213.51	-731.58	3129.13
46	18.5523	0.4109	18.3885	1947.988	800.5247	2694.56	-328.76	-2674.43	3290.87	-744.57	3205.53
47	18.9634	0.4113	18.4330	1991.156	818.9577	2760.07	-338.94	-2739.18	3368.53	-757.42	3282.27
48	19.3749	0.4117	18.4877	2034.361	837.4454	2825.92	-349.24	-2804.26	3446.48	-770.12	3359.34
49	19.7867	0.4120	18.5331	2077.603	855.9785	2892.11	-359.68	-2869.66	3524.74	-782.69	3436.74
50	20.1989	0.4124	18.5820	2120.881	874.5605	2958.65	-370.24	-2935.39	3603.30	-795.11	3514.48
51	20.6114	0.4127	18.6313	2164.198	893.1919	3025.54	-380.94	-3001.46	3682.17	-807.40	3592.56
52	21.0243	0.4131	18.6812	2207.551	911.8730	3092.78	-391.76	-3067.87	3761.35	-819.54	3670.98
53	21.4375	0.4134	18.7313	2250.942	930.6044	3160.39	-402.71	-3134.62	3840.85	-831.54	3749.75
54	21.8512	0.4138	18.7818	2294.371	949.3862	3228.35	-413.79	-3201.72	3920.66	-843.40	3828.87
55	22.2651	0.4142	18.8347	2337.838	968.2209	3296.69	-425.00	-3269.18	4000.80	-855.12	3908.34
56	22.6795	0.4145	18.8862	2381.343	987.1071	3365.39	-436.33	-3336.98	4081.26	-866.70	3988.17
57	23.0942	0.4149	18.9382	2424.886	1006.0452	3434.47	-447.80	-3405.15	4162.05	-878.14	4068.35
58	23.5092	0.4153	18.9868	2468.469	1025.0320	3503.93	-459.40	-3473.68	4243.17	-889.43	4148.90
59	23.9247	0.4156	19.0435	2512.089	1044.0754	3573.77	-471.12	-3542.58	4324.63	-900.59	4229.81
60	24.3405	0.4160	19.0990	2555.749	1063.1744	3644.00	-482.98	-3611.85	4406.42	-911.60	4311.10
61	24.7566	0.4164	19.1489	2599.448	1082.3234	3714.62	-494.97	-3681.50	4488.57	-922.48	4392.75
62	25.1732	0.4167	19.2031	2643.186	1101.5265	3785.65	-507.08	-3751.53	4571.06	-933.21	4474.78
63	25.5901	0.4171	19.2603	2686.964	1120.7867	3857.07	-519.32	-3821.95	4653.90	-943.80	4557.20

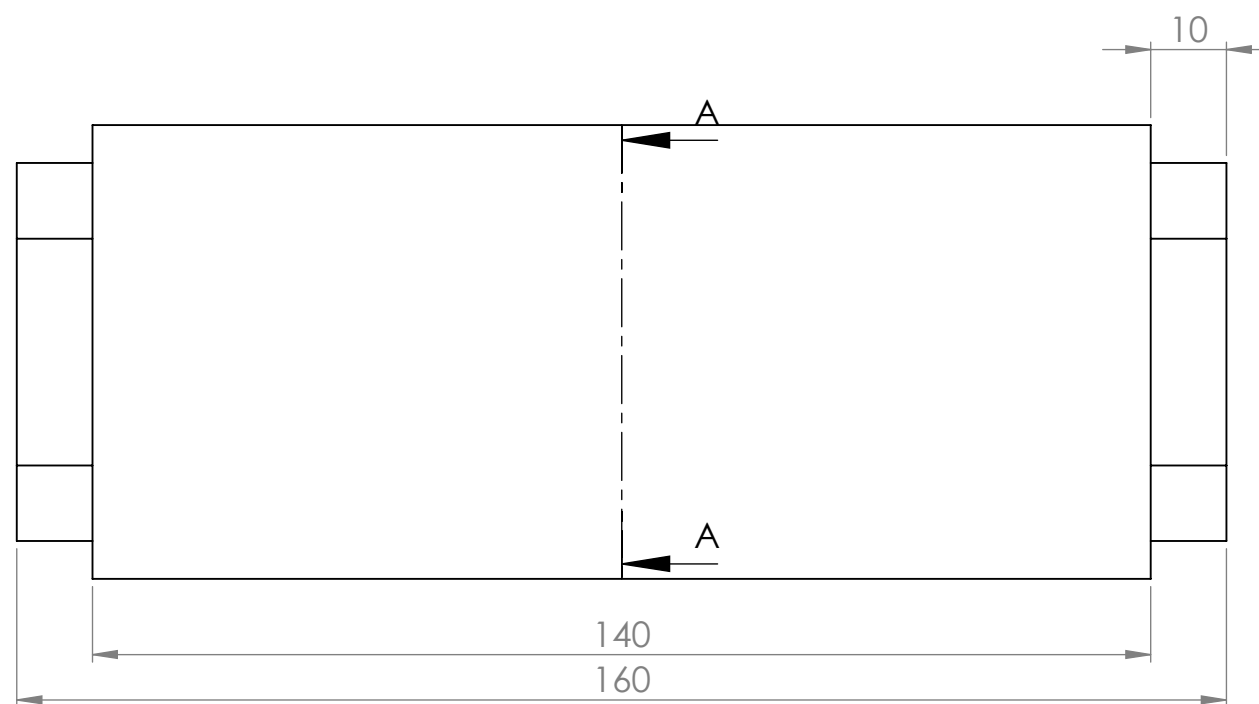
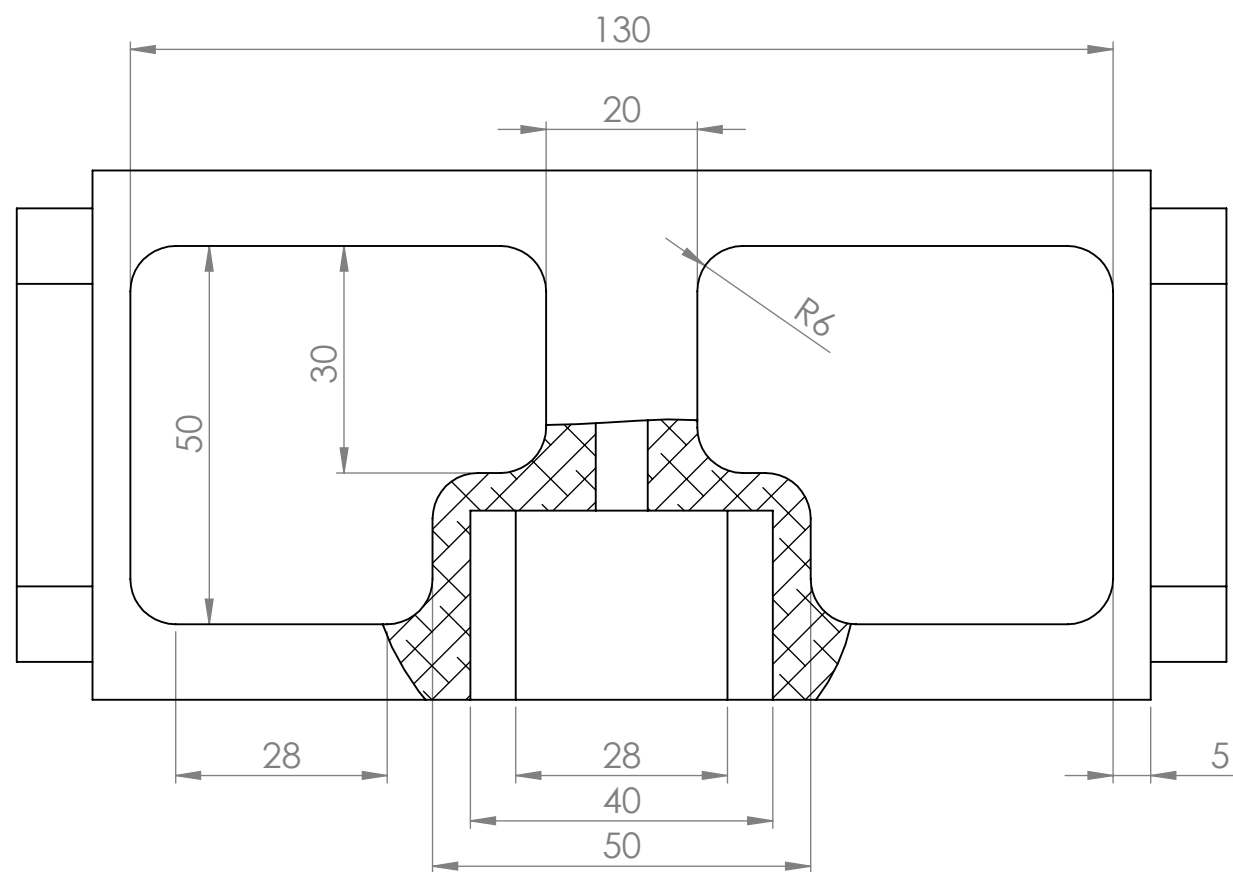
“II Competición Internacional Motostudent”

Wheel displ.	Shock displ.	Motion ratio	Wheel rate	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rocker load tota	Rocker load vert	Rocker load hori.
64	26,0074	0.4175	19,3158	2730,781	1140,1025	3928,90	-531,69	-3892,76	4737,10	-954,24	4639,99
65	26,4251	0.4179	19,3719	2774,639	1159,4745	4001,15	-544,19	-3963,97	4820,66	-964,55	4723,18
66	26,8432	0.4183	19,4264	2818,537	1178,9009	4073,82	-556,83	-4035,58	4904,59	-974,71	4806,76
67	27,2617	0.4187	19,4857	2862,475	1198,3866	4146,90	-569,59	-4107,60	4988,88	-984,73	4890,73
68	27,6805	0.4190	19,5438	2906,454	1217,9304	4220,42	-582,49	-4180,03	5073,56	-994,61	4975,11
69	28,0998	0.4194	19,6023	2950,474	1237,5327	4294,37	-595,50	-4252,88	5158,61	-1004,34	5059,90
70	28,5194	0.4198	19,6615	2994,535	1257,1942	4368,76	-608,66	-4326,16	5244,05	-1013,94	5145,09
71	28,9394	0.4202	19,7189	3038,638	1276,9131	4443,60	-621,94	-4399,86	5329,87	-1023,38	5230,70
72	29,3598	0.4206	19,7819	3082,783	1296,6949	4518,89	-635,36	-4474,01	5416,10	-1032,69	5316,73
73	29,7807	0.4210	19,8430	3126,969	1316,5380	4594,64	-648,90	-4548,59	5502,72	-1041,85	5403,19
74	30,2019	0.4214	19,9050	3171,198	1336,4430	4670,86	-662,58	-4623,63	5589,75	-1050,87	5490,08
75	30,6235	0.4218	19,9651	3215,470	1356,4081	4747,55	-676,39	-4699,12	5677,19	-1059,74	5577,40
76	31,0456	0.4222	20,0311	3259,784	1376,4392	4824,71	-690,33	-4775,07	5765,05	-1068,47	5665,17
77	31,4680	0.4227	20,0955	3304,142	1396,5347	4902,36	-704,40	-4851,49	5853,33	-1077,05	5753,38
78	31,8909	0.4231	20,1577	3348,543	1416,6924	4980,50	-718,61	-4928,39	5942,04	-1085,49	5842,05
79	32,3142	0.4235	20,2263	3392,988	1436,9187	5059,14	-732,94	-5005,77	6031,19	-1093,78	5931,18
80	32,7379	0.4239	20,2903	3437,478	1457,2090	5138,29	-747,41	-5083,64	6120,78	-1101,92	6020,77
81	33,1620	0.4243	20,3607	3482,011	1477,5697	5217,95	-762,01	-5162,01	6210,82	-1109,92	6110,84
82	33,5866	0.4248	20,4292	3526,590	1497,9989	5298,14	-776,75	-5240,89	6301,31	-1117,77	6201,38
83	34,0116	0.4252	20,4958	3571,213	1518,4948	5378,85	-791,61	-5320,28	6392,27	-1125,47	6292,41
84	34,4370	0.4256	20,5663	3615,883	1539,0610	5460,10	-806,62	-5400,20	6483,69	-1133,03	6383,93
85	34,8628	0.4261	20,6376	3660,598	1559,6986	5541,90	-821,75	-5480,64	6575,60	-1140,43	6475,95
86	35,2891	0.4265	20,7129	3705,359	1580,4115	5624,26	-837,02	-5561,63	6667,99	-1147,69	6568,48
87	35,7159	0.4270	20,7834	3750,167	1601,1949	5707,18	-852,42	-5643,16	6760,87	-1154,80	6661,52
88	36,1431	0.4274	20,8578	3795,022	1622,0527	5790,67	-867,96	-5725,25	6854,25	-1161,75	6755,08
89	36,5707	0.4279	20,9353	3839,924	1642,9880	5874,75	-883,63	-5807,91	6948,15	-1168,56	6849,18
90	36,9988	0.4283	21,0103	3884,875	1663,9983	5959,42	-899,44	-5891,15	7042,56	-1175,21	6943,81
91	37,4274	0.4288	21,0884	3929,873	1685,0867	6044,69	-915,39	-5974,97	7137,49	-1181,71	7038,99
92	37,8564	0.4293	21,1675	3974,920	1706,2542	6130,57	-931,47	-6059,40	7232,96	-1188,05	7134,73
93	38,2859	0.4297	21,2480	4020,017	1727,5022	6217,08	-947,68	-6144,43	7328,98	-1194,24	7231,03
94	38,7158	0.4302	21,3297	4065,162	1748,8319	6304,22	-964,04	-6230,07	7425,55	-1200,28	7327,90
95	39,1463	0.4307	21,4113	4110,358	1770,2432	6392,01	-980,53	-6316,35	7522,69	-1206,16	7425,36
96	39,5772	0.4312	21,4956	4155,605	1791,7388	6480,45	-997,16	-6403,28	7620,40	-1211,88	7523,42
97	40,0086	0.4317	21,5834	4200,902	1813,3221	6569,57	-1013,93	-6490,85	7718,69	-1217,44	7622,08
98	40,4405	0.4321	21,6689	4246,251	1834,9911	6659,36	-1030,84	-6579,09	7817,58	-1222,85	7721,35
99	40,8729	0.4326	21,7565	4291,653	1856,7476	6749,85	-1047,89	-6668,01	7917,08	-1228,09	7821,25
100	41,3058	0.4331	21,8484	4337,106	1878,5959	6841,05	-1065,08	-6757,63	8017,20	-1233,17	7921,79
101	41,7392	0.4337	21,9407	4382,613	1900,5366	6932,96	-1082,41	-6847,95	8117,95	-1238,09	8022,98
102	42,1731	0.4342	22,0327	4428,174	1922,5693	7025,61	-1099,88	-6938,98	8219,34	-1242,85	8124,83
103	42,6075	0.4347	22,1299	4473,788	1944,6992	7119,01	-1117,49	-7030,76	8321,38	-1247,44	8227,35
104	43,0425	0.4352	22,2258	4519,458	1966,9250	7213,17	-1135,25	-7123,28	8424,10	-1251,86	8330,56
105	43,4779	0.4357	22,3239	4565,183	1989,2489	7308,11	-1153,14	-7216,56	8527,50	-1256,11	8434,47
106	43,9139	0.4363	22,4260	4610,964	2011,6749	7403,85	-1171,19	-7310,63	8631,59	-1260,20	8539,10
107	44,3505	0.4368	22,5286	4656,802	2034,2035	7500,39	-1189,37	-7405,49	8736,40	-1264,11	8644,46
108	44,7876	0.4374	22,6349	4702,697	2056,8384	7597,76	-1207,71	-7501,17	8841,93	-1267,85	8750,56
109	45,2252	0.4379	22,7402	4748,650	2079,5786	7695,98	-1226,19	-7597,67	8948,21	-1271,41	8857,42
110	45,6635	0.4385	22,8501	4794,663	2102,4287	7795,06	-1244,81	-7695,03	9055,24	-1274,80	8965,06
111	46,1022	0.4391	22,9619	4840,734	2125,3906	7895,03	-1263,59	-7793,25	9163,05	-1278,01	9073,49
112	46,5416	0.4396	23,0759	4886,866	2148,4666	7995,89	-1282,51	-7892,36	9271,65	-1281,03	9182,73
113	46,9815	0.4402	23,1938	4933,059	2171,6604	8097,67	-1301,58	-7992,38	9381,07	-1283,88	9292,79
114	47,4220	0.4408	23,3118	4979,313	2194,9722	8200,40	-1320,81	-8093,33	9491,31	-1286,54	9403,71
115	47,8631	0.4414	23,4333	5025,630	2218,4055	8304,09	-1340,18	-8195,23	9602,40	-1289,01	9515,49
116	48,3049	0.4420	23,5591	5072,011	2241,9646	8408,76	-1359,71	-8298,10	9714,36	-1291,28	9628,16
117	48,7472	0.4426	23,6870	5118,456	2265,6516	8514,45	-1379,39	-8401,97	9827,21	-1293,37	9741,73
118	49,1902	0.4433	23,8171	5164,966	2289,4688	8621,16	-1399,23	-8506,86	9940,98	-1295,26	9856,23



ANEXO 4

PLANOS

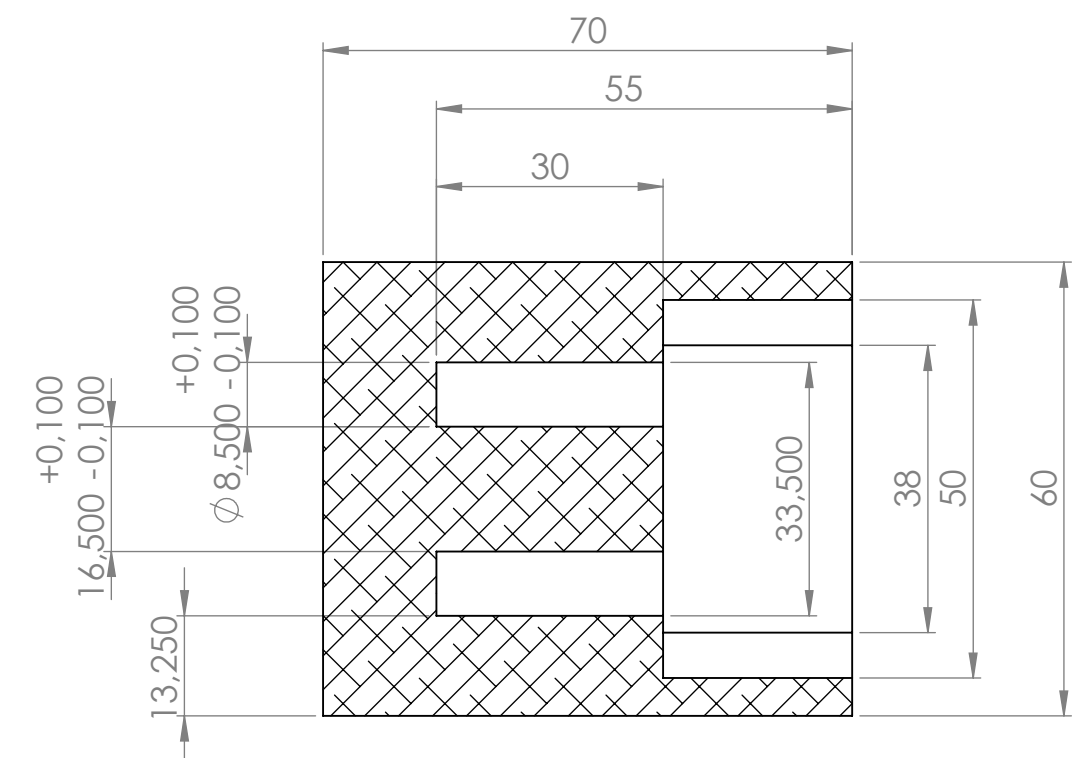
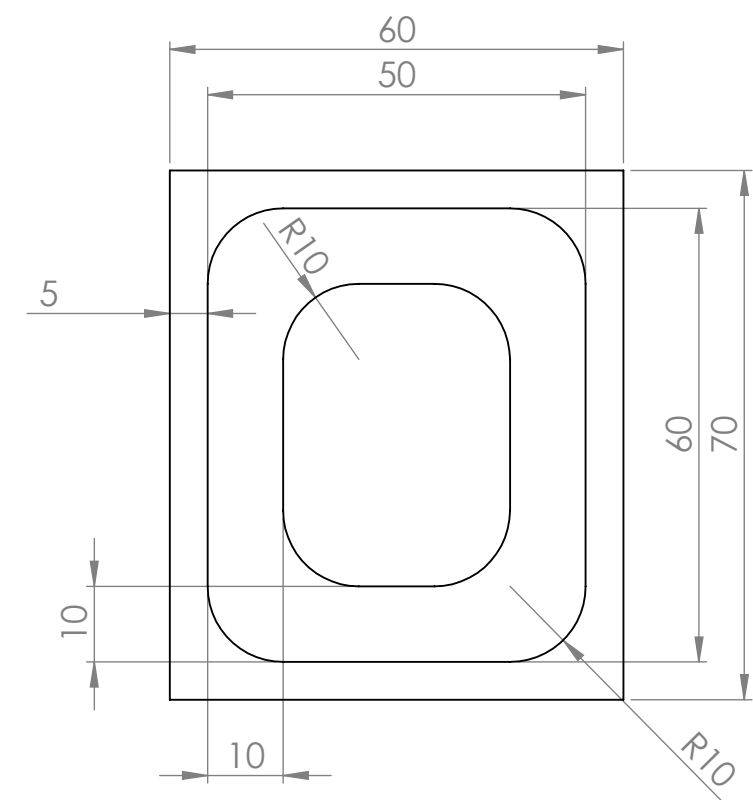


3.2 Fresado

En todas las superficies salvo indicación en particular

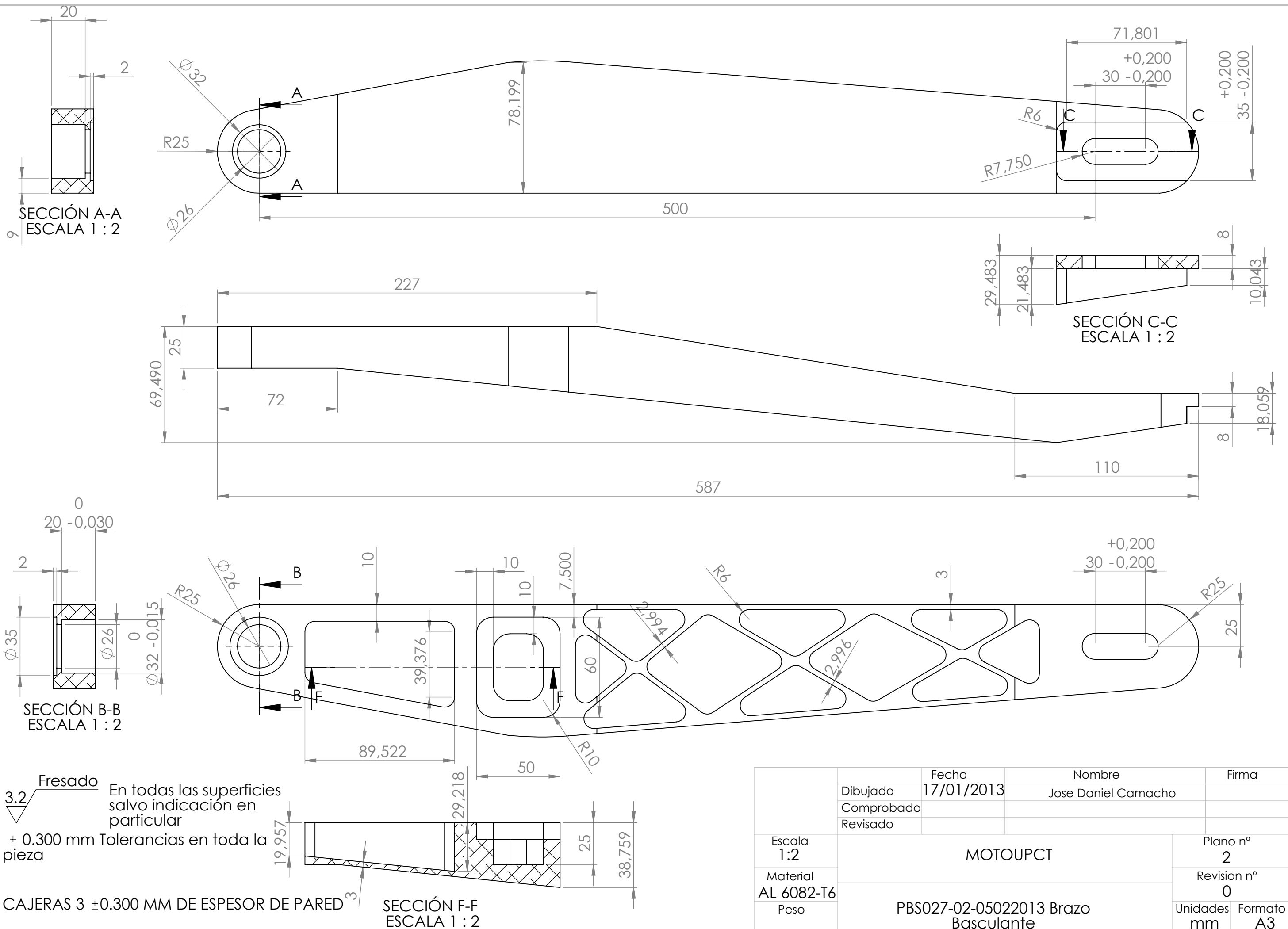
± 0.300 mm Tolerancias en toda la pieza

CAJERAS 3 ± 0.300 MM DE ESPESOR DE PARED

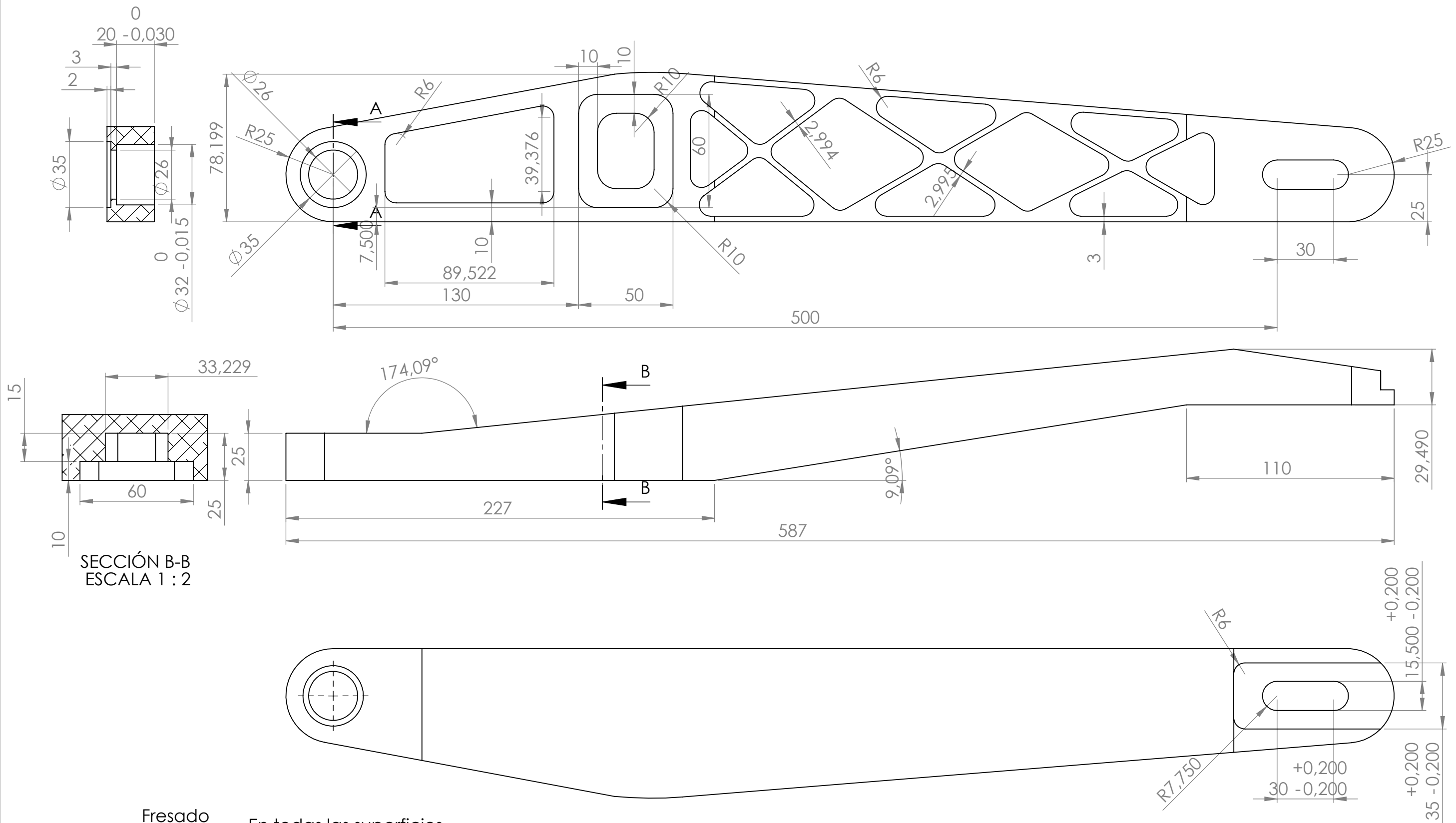


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado	19-12-2012	Jose Daniel Camacho	
	Revisado			
Escala 1:1	MotoUPCT			Plano nº 1
Material AL6082-T6	PBS030-02-05022013 Traviesa			Revision nº 0
Peso				Unidades mm
				Formato A3



	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado	17/01/2013	Jose Daniel Camacho	
	Revisado			
Escala 1:2	MOTOU PCT			Plano nº 2
Material AL 6082-T6				Revision nº 0
Peso	PBS027-02-05022013 Brazo Basculante			Unidades mm
				Formato A3



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 2

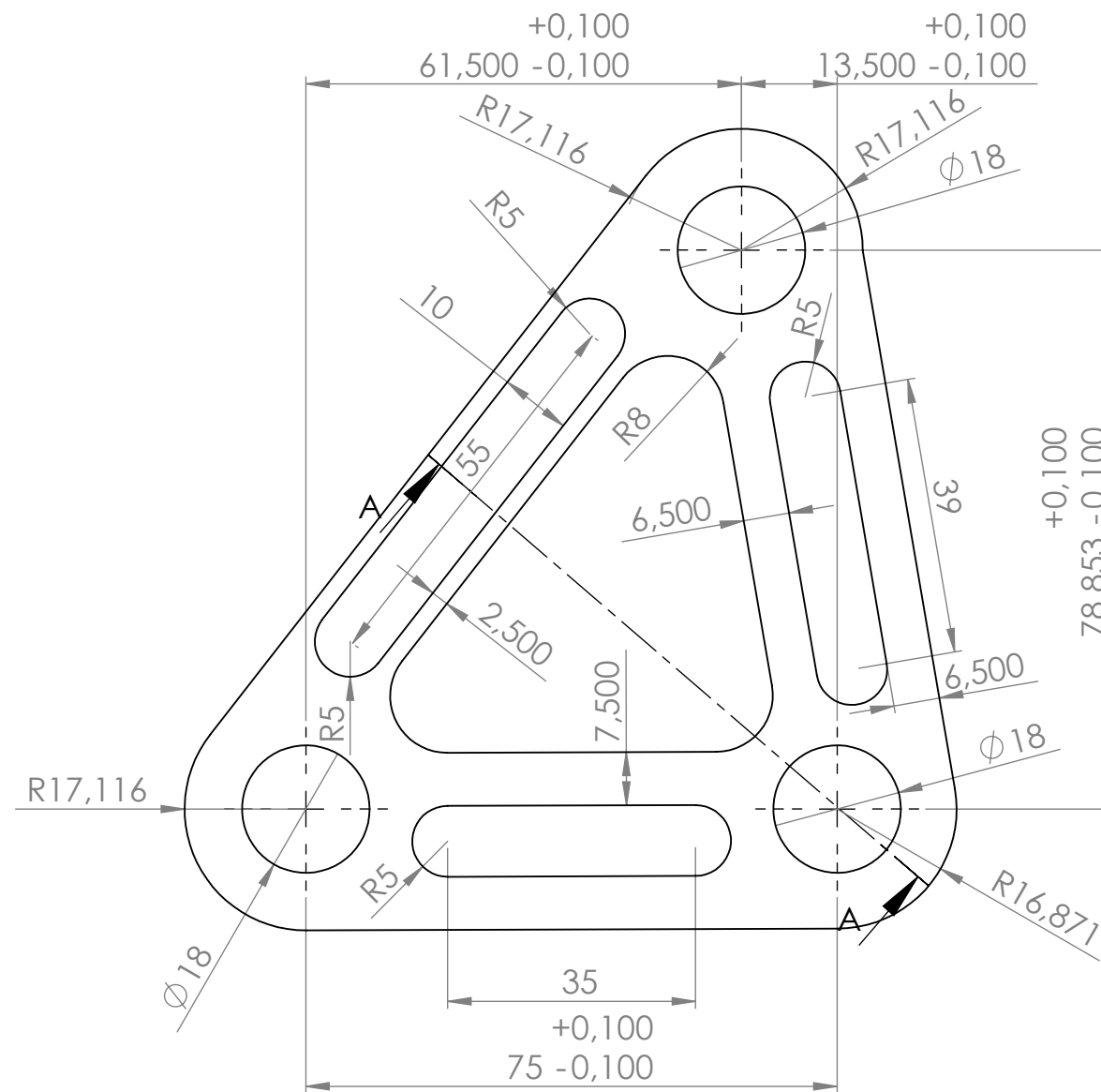
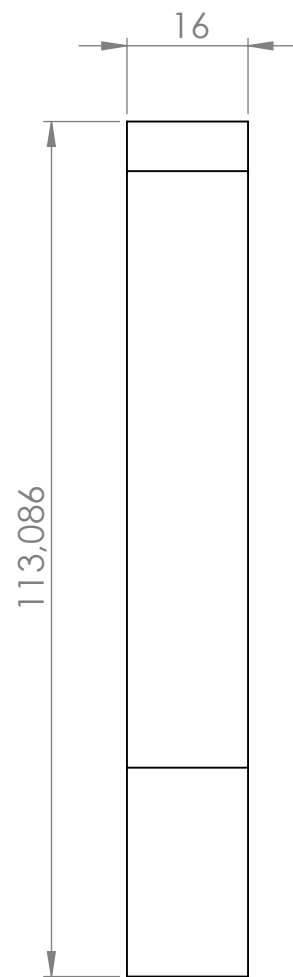
3.2 Fresado

En todas las superficies
salvo indicación en
particular

± 0.300 mm Tolerancias en toda la
pieza

CAJERAS 3 ±0.300 MM DE ESPESOR DE PARED

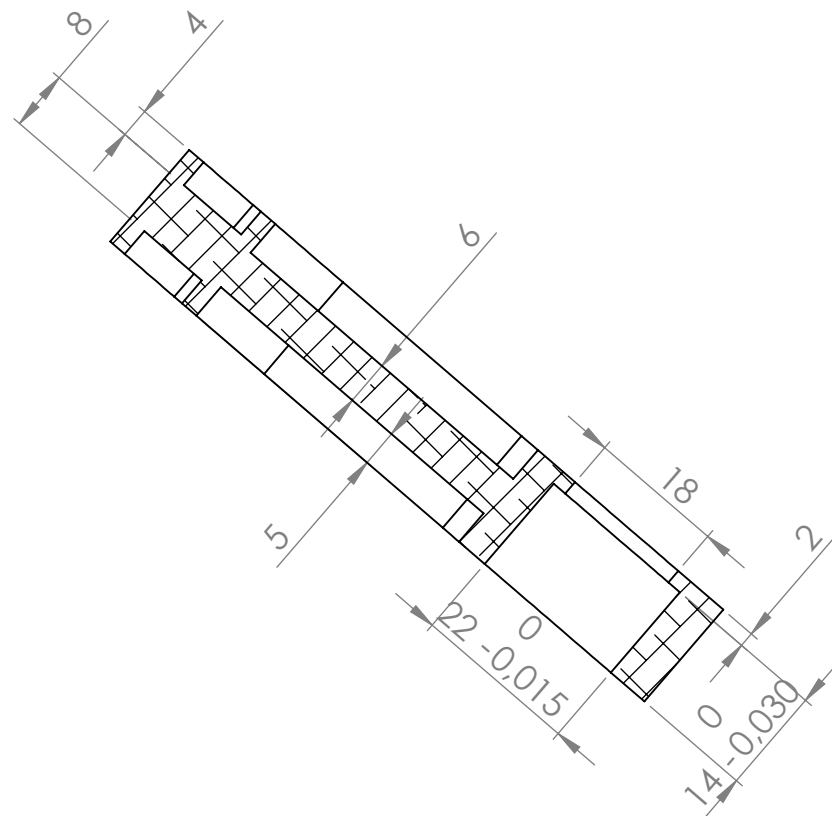
	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado	17/01/2013	Jose Daniel Camacho	
	Revisado			
Escala 1:2	MOTOU PCT			Plano n° 3
Material AL 6082-T6	PBS028-02-05022013 Brazo Basculante			Revision n° 0
Peso				Unidades mm
				Formato A3



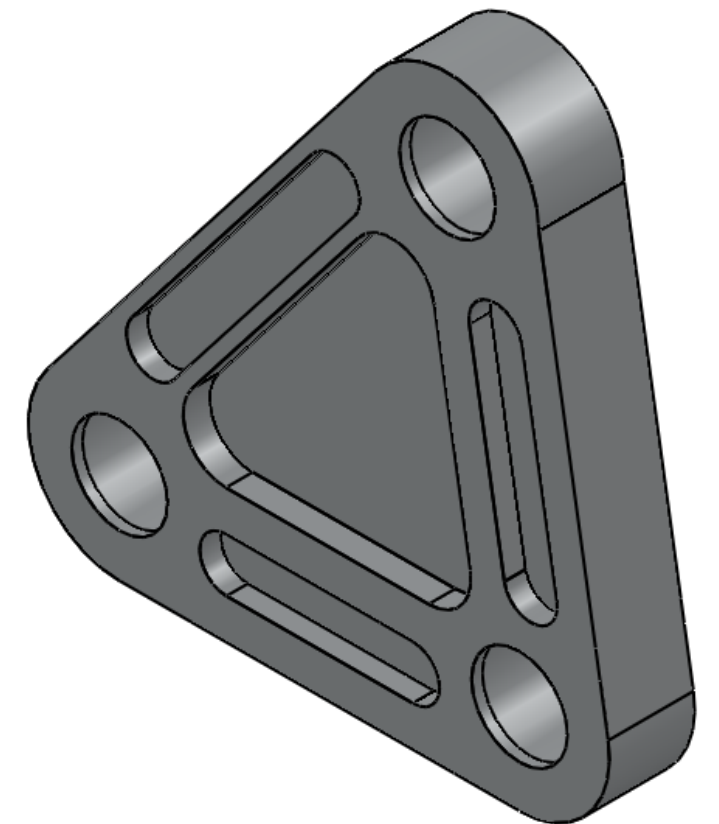
± 0.200 mm Tolerancias en toda la pieza

3.2 Fresado

En todas las superficies salvo indicación en particular



SECCIÓN A-A

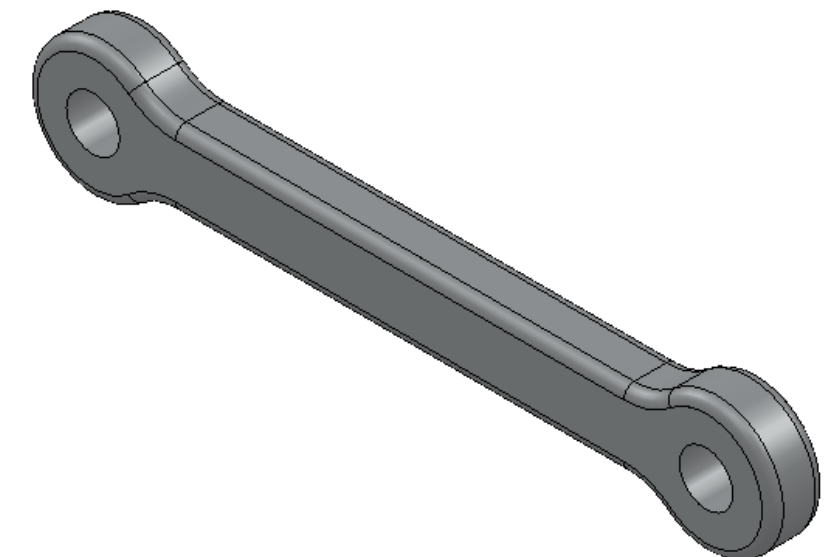
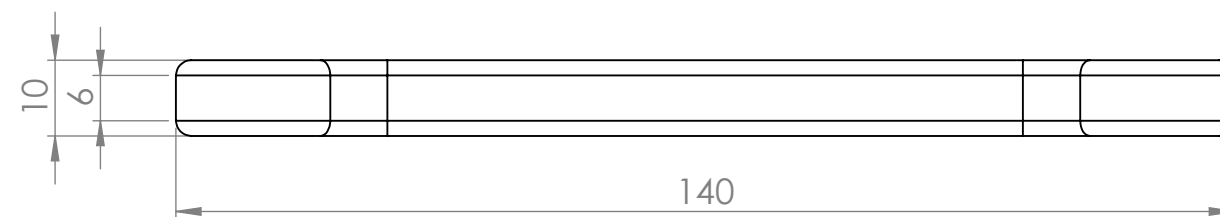
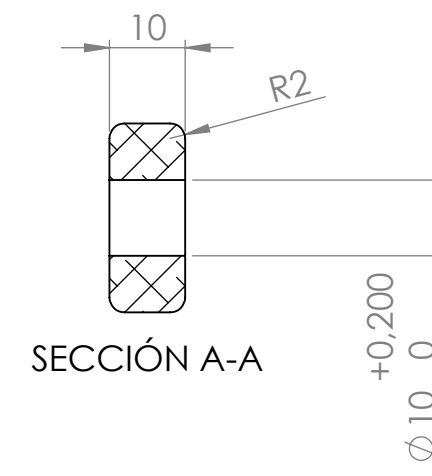
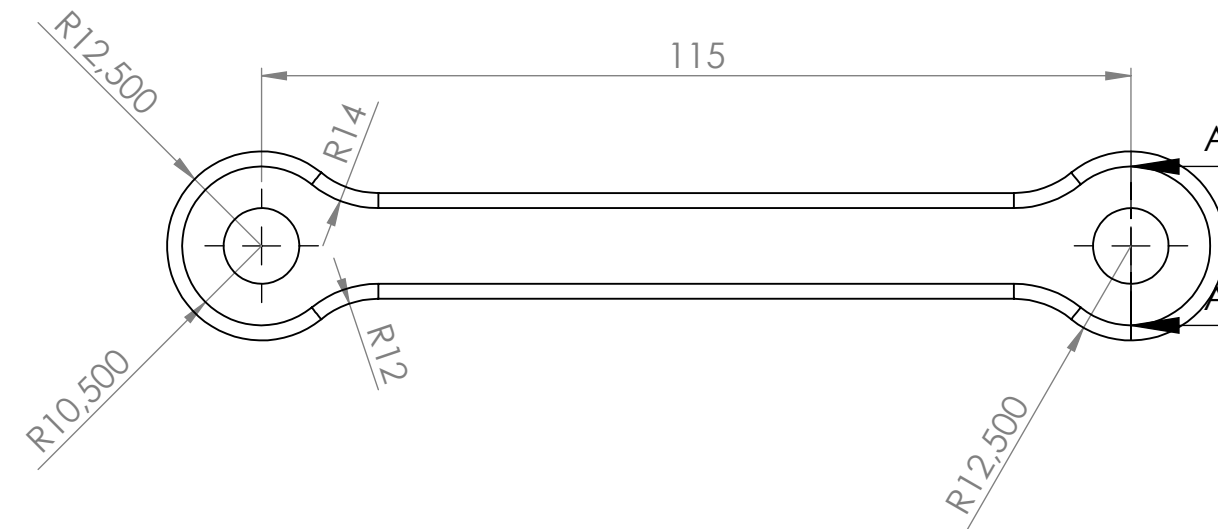


	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado	10/09/2013	Jose Daniel Camacho Segura	
	Revisado			
Escala 1:1	MOTOU PCT			Plano nº 4
Material AL7075-T6	Rocker			Revision nº 0
Peso				Unidades mm
				Formato A3

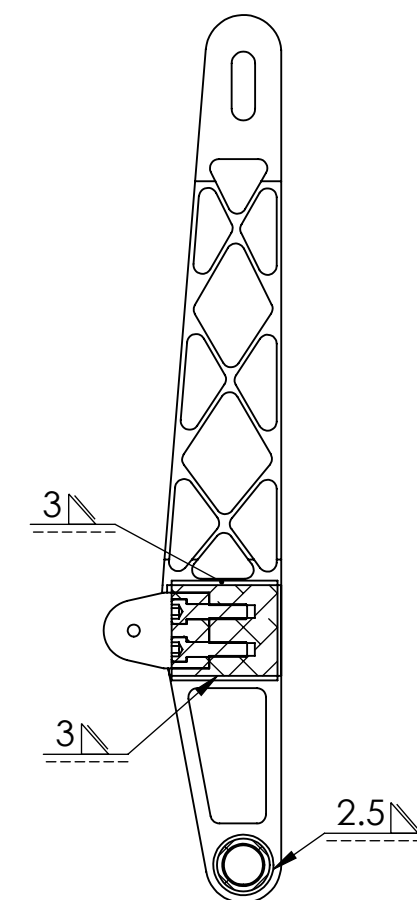
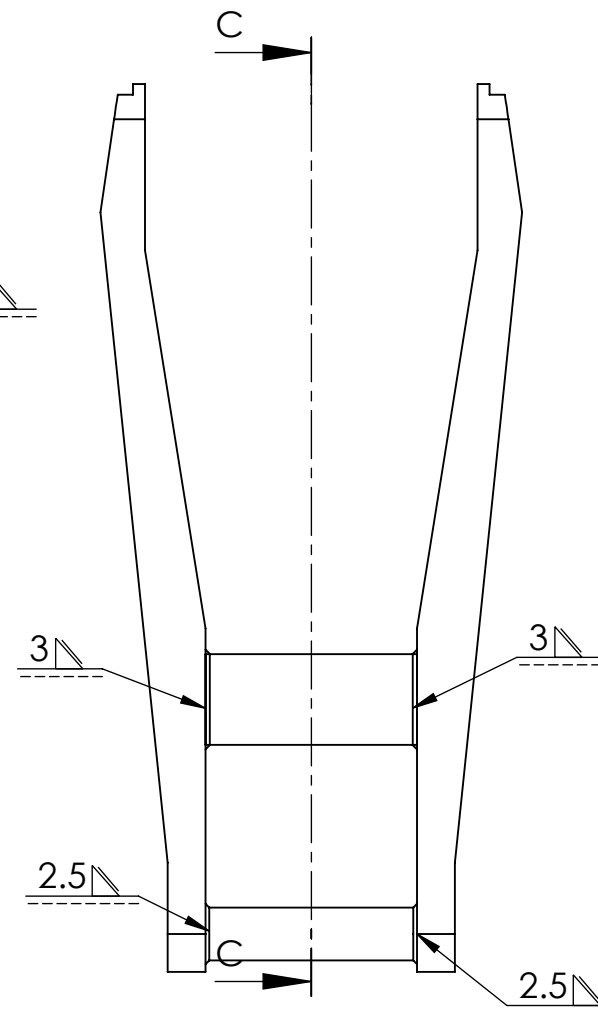
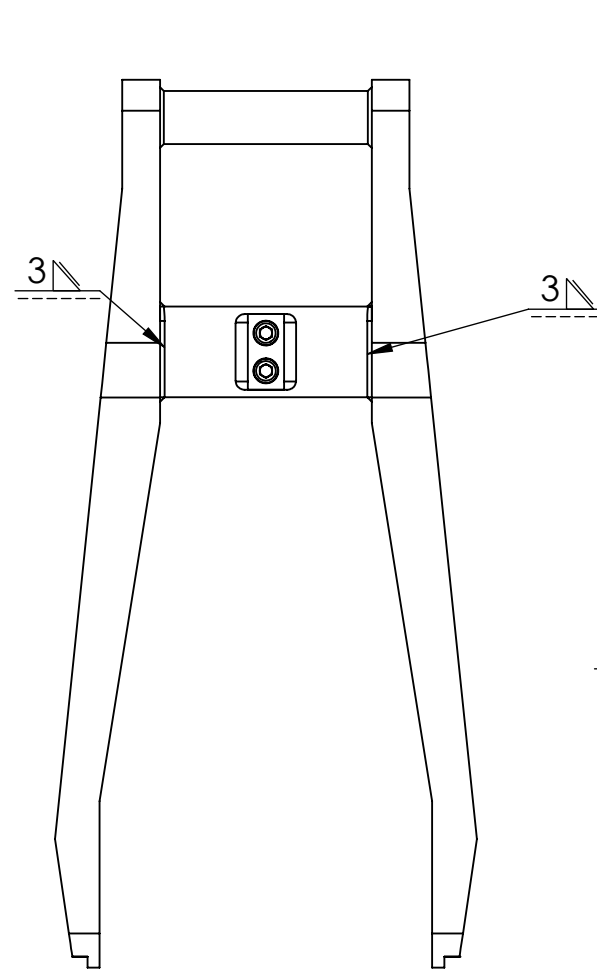
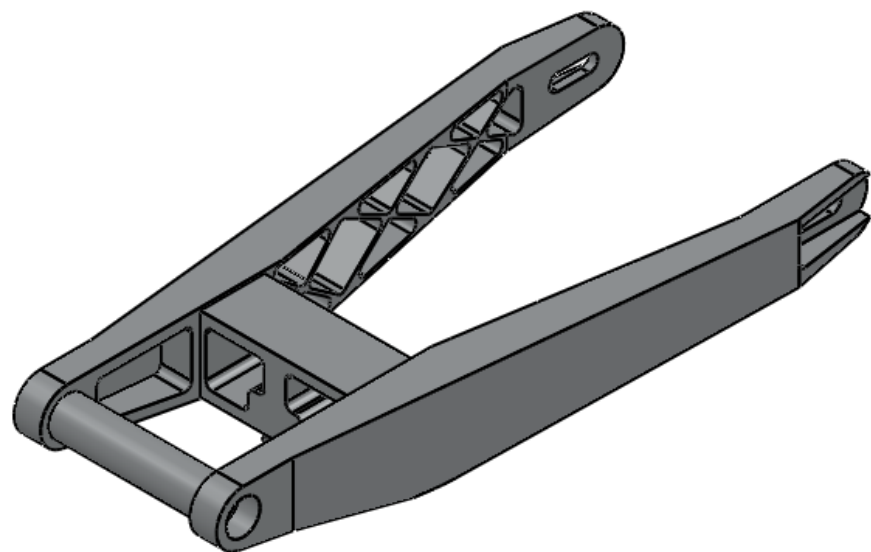
3.2 Fresado

En todas las superficies salvo indicación en particular

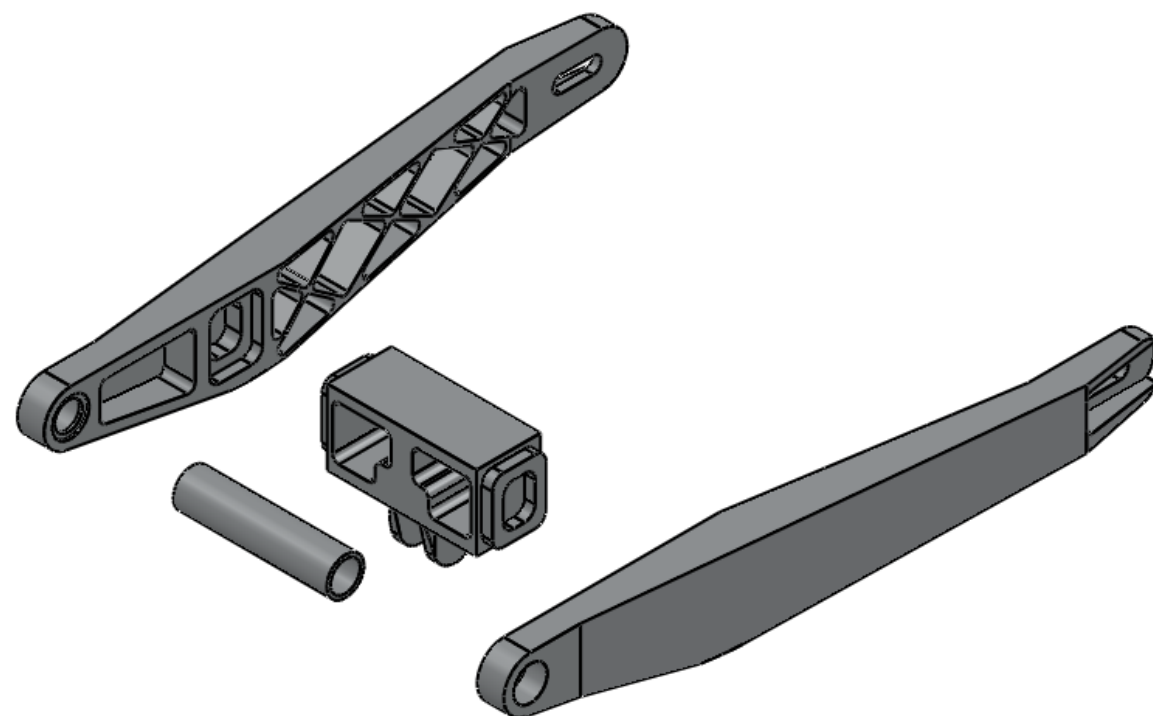
± 0.200 mm Tolerancias en toda la pieza



	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado	10/09/2013	Jose Daniel Camacho Segura	
	Revisado			
Escala 1:1	MOTOU PCT			Plano n° 5
Material AL7075-T6	Link			Revision n° 0
Peso				Unidades mm
				Formato A3

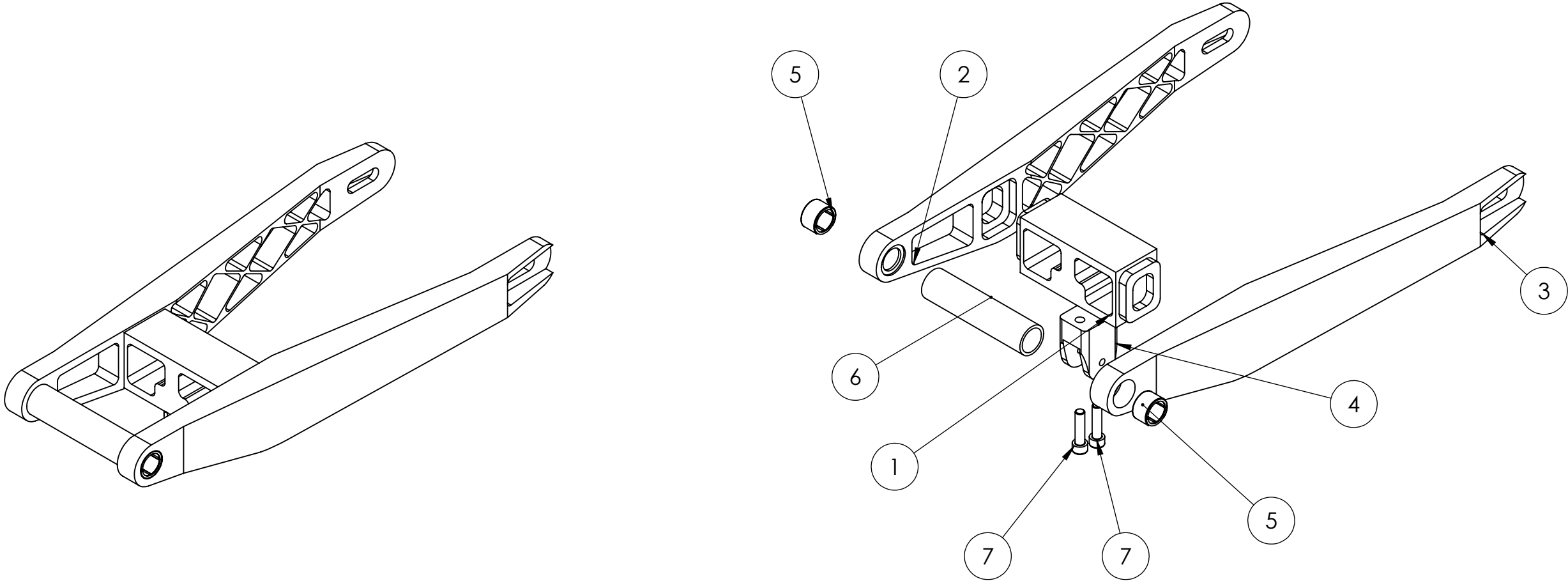


SECCIÓN C-C

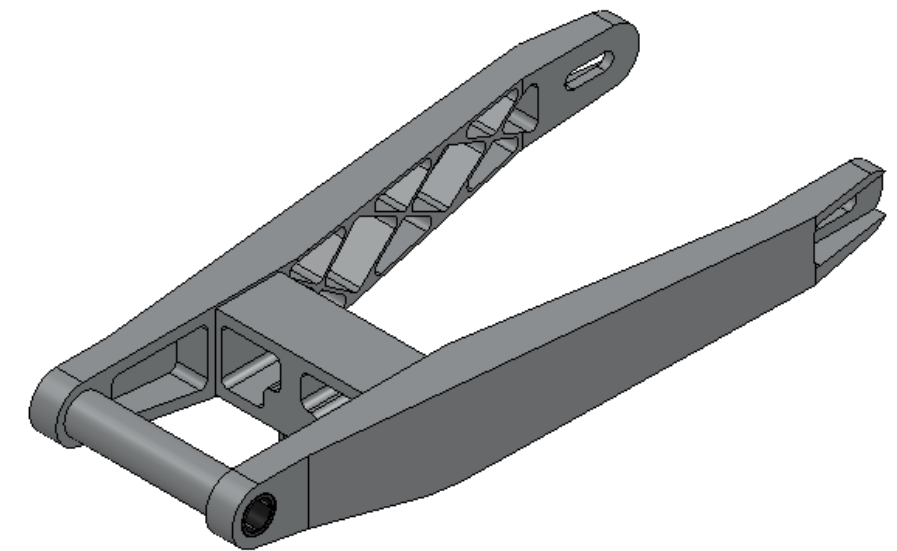
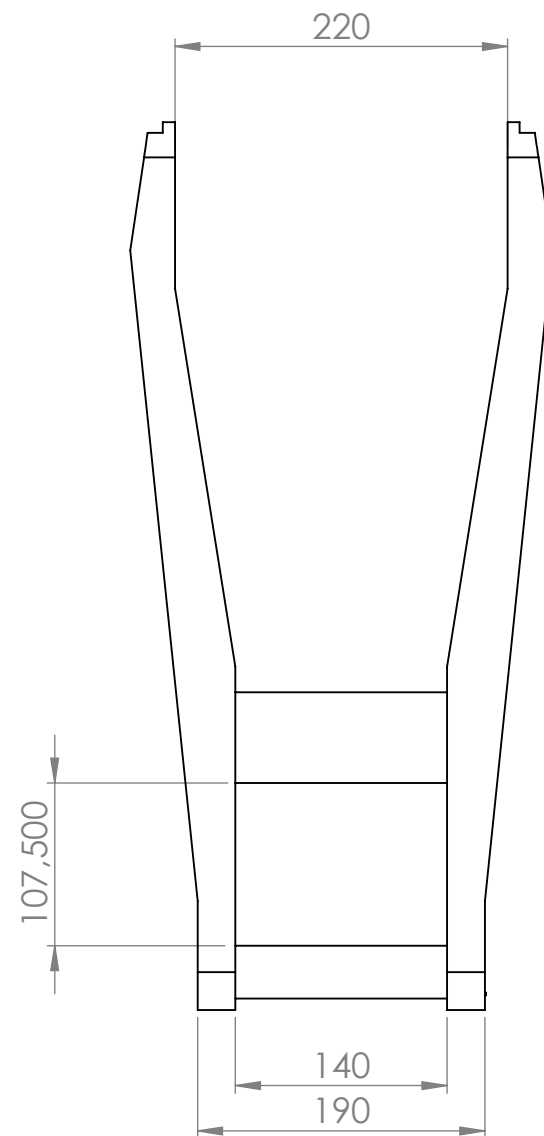
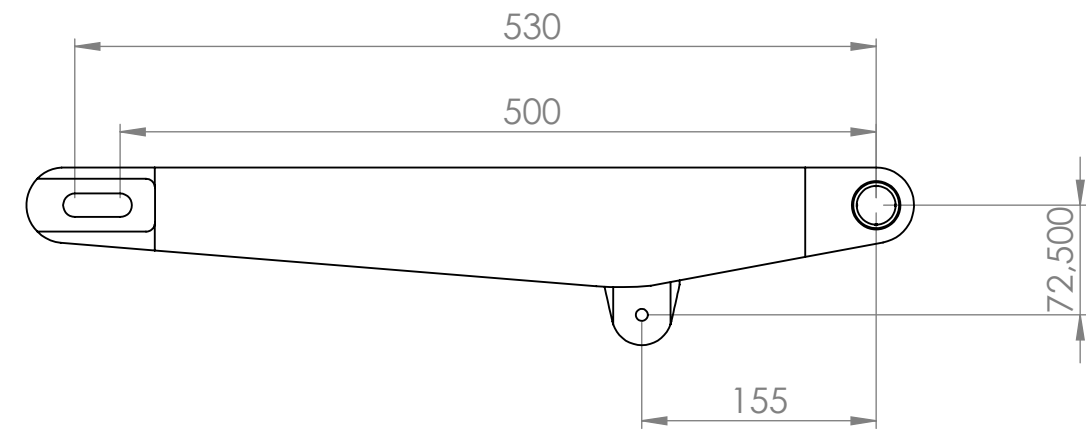
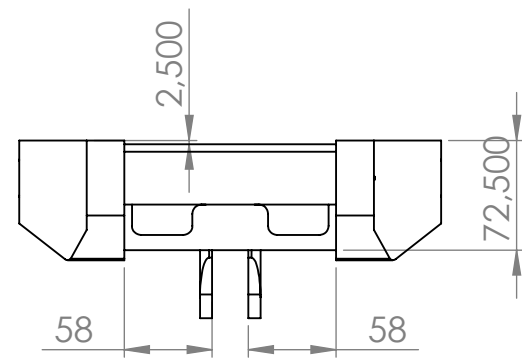


		Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado	10/10/2013	Jose Daniel Camacho Segura	
	Comprobado			
	Revisado			
Escala 1:5	MOTOUPT			Plano nº 6
Material Al6082-T6				Revision nº 0
Peso	EBS012-02-05022013 Soldadura basculante			Unidades mm
				Formato A3

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	Predeterminado/CANTIDAD
1	PBS030-02-05022013	Traviesa	AL6082-T6	1
2	PBS027-02-05022013	Viga derecha	AL6082-T6	1
3	PBS028-02-05022013	Viga izquierda	AL6082-T6	1
4	PBS018-02-11122012	Anclaje suspensión	AL6082-T6	1
5	inafag_hk2520_b2sk4u vl4ypcilh5we3xf6zgn	Rodamiento		2
6	PBS029-02-05022013	Tubo rigidez torsional	AL6082-T6	1
7	ISO 4762 M10 x 40 --- 40C			2

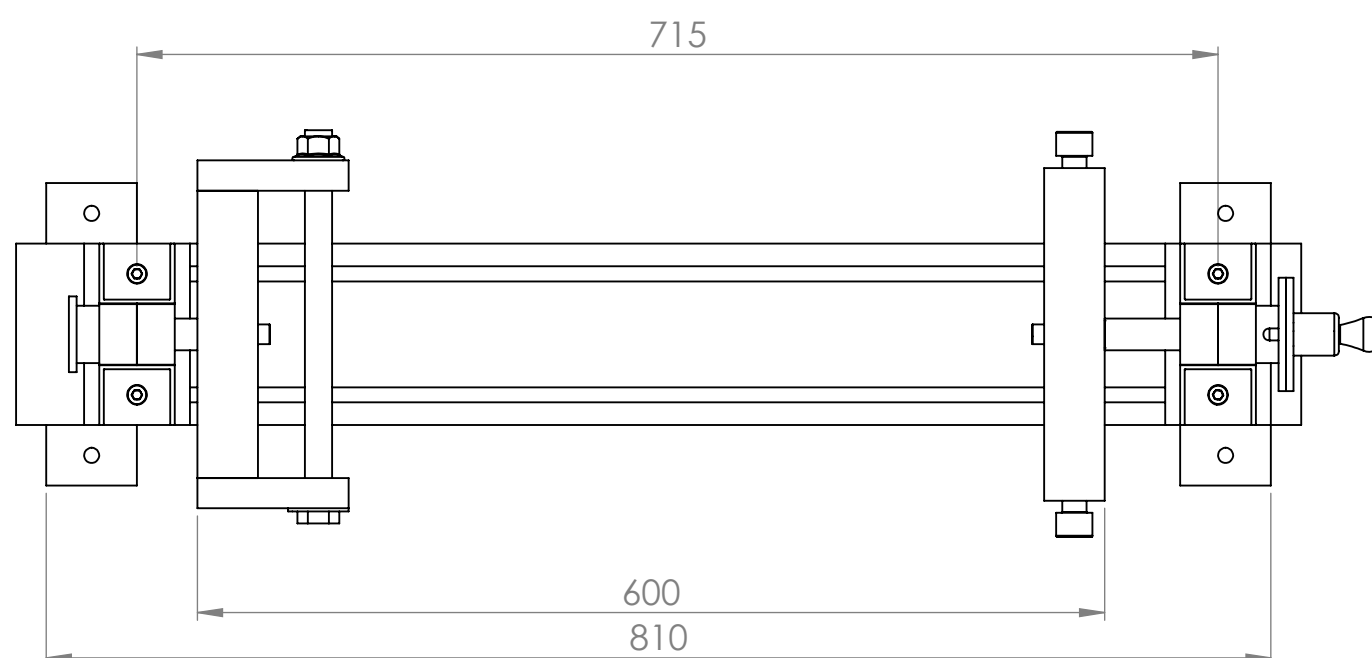
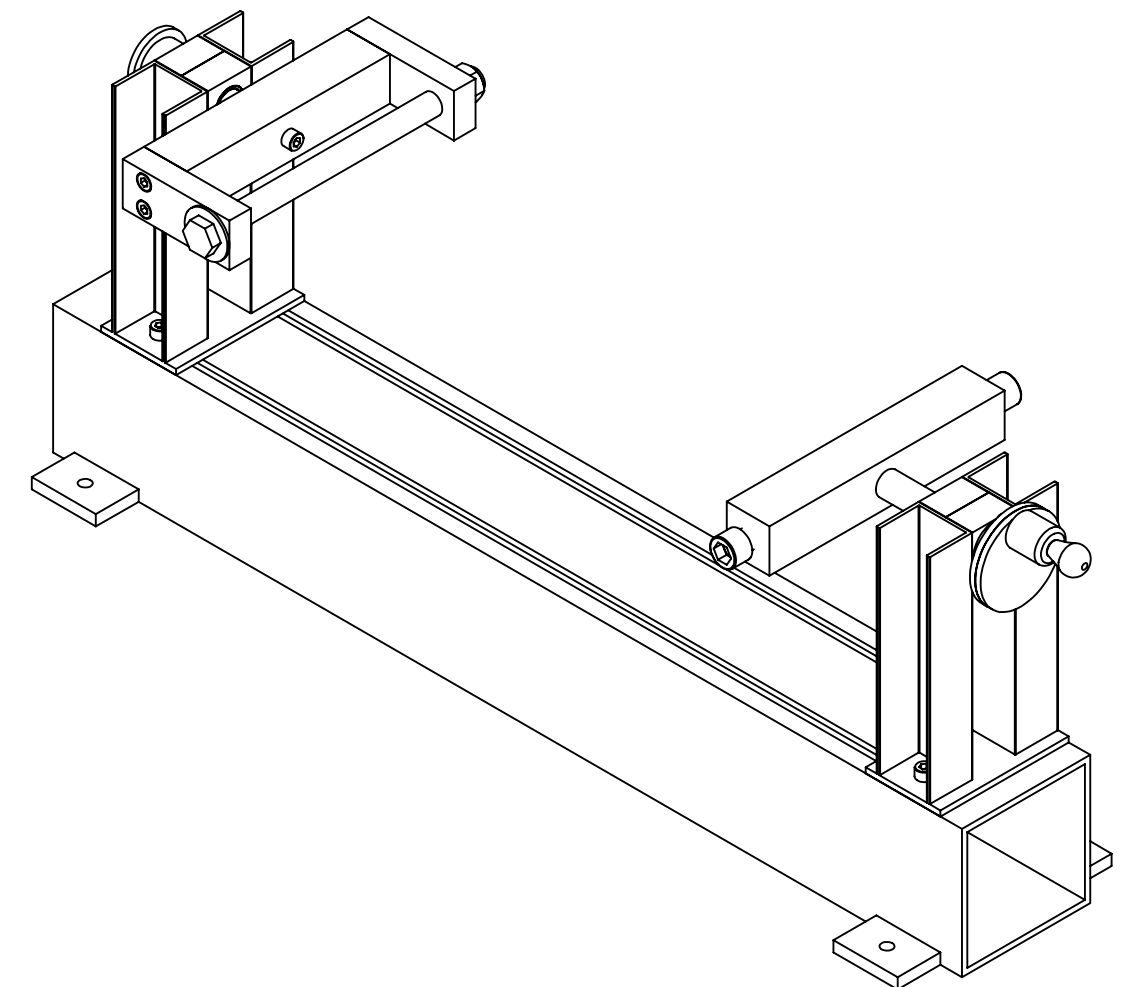
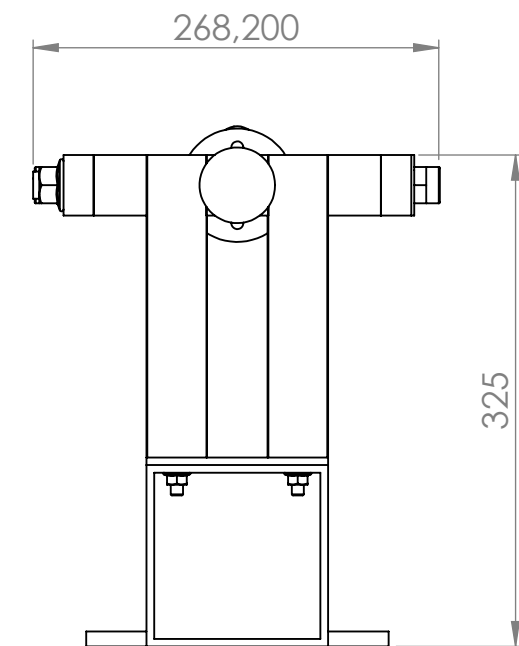
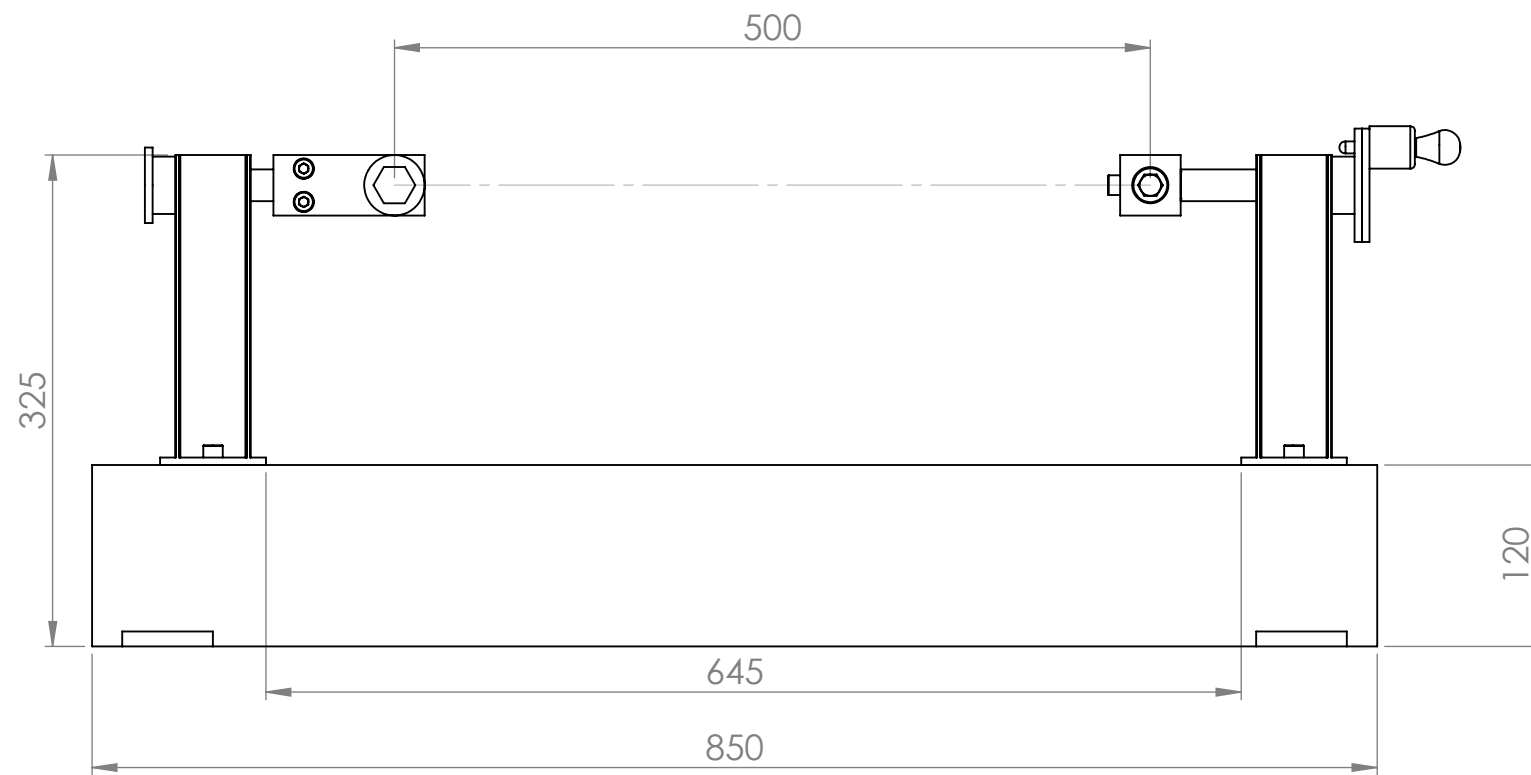


	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado		Jose Daniel Camacho Segura	
	Revisado			
Escala 1:5	MOTOU PCT			Plano nº 7
Material -				Revision nº 0
Peso	Lista de materiales			Unidades mm
				Formato A3



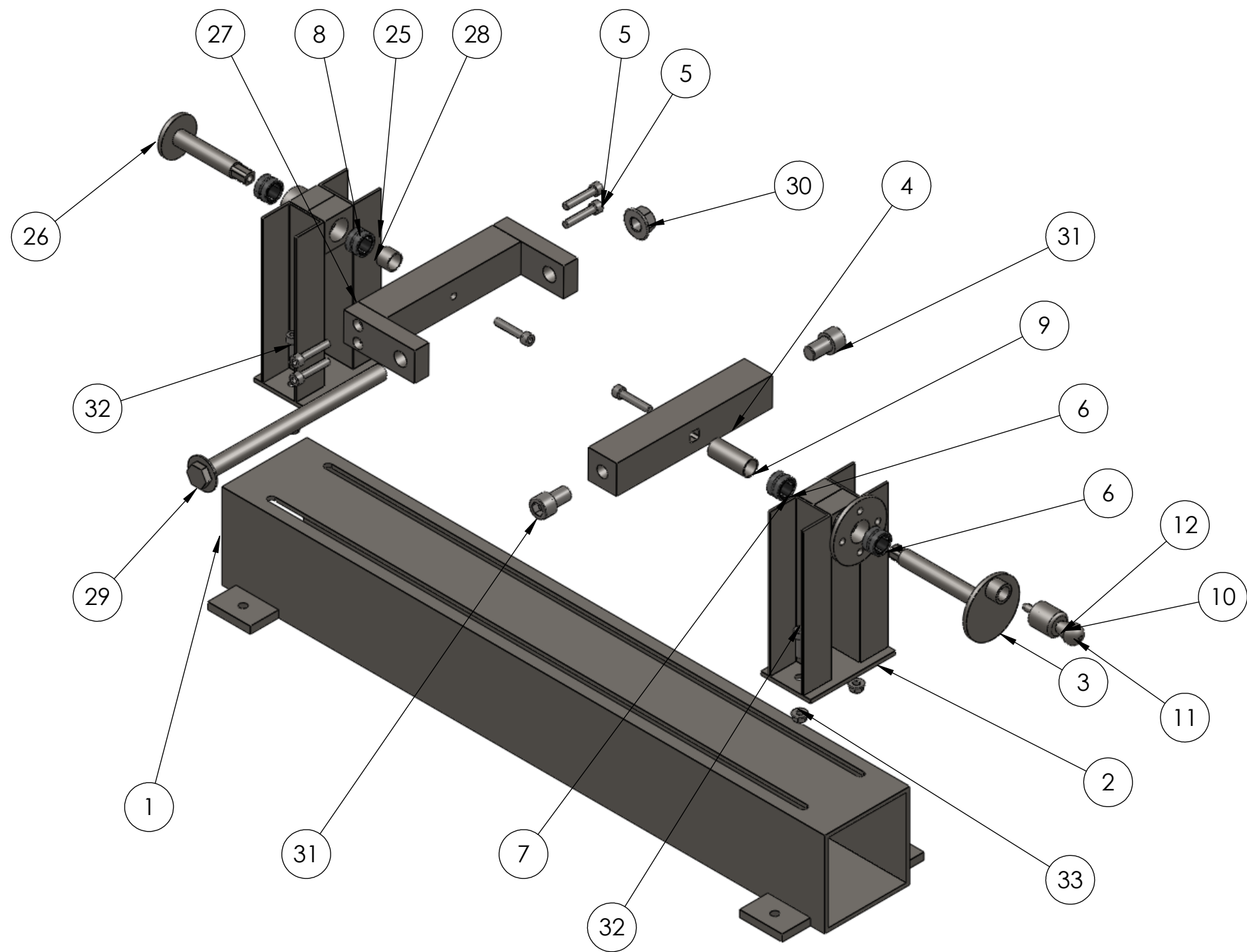
± 0.300 mm Tolerancias en toda la pieza

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado		Jose Daniel Camacho Segura	
Comprobado			
Revisado			
Escala 1:5	MOTOU PCT		Plano n° 8
Material			Revision n° 0
Peso -	Cotas generales basculante		Unidades mm
			Formato A3



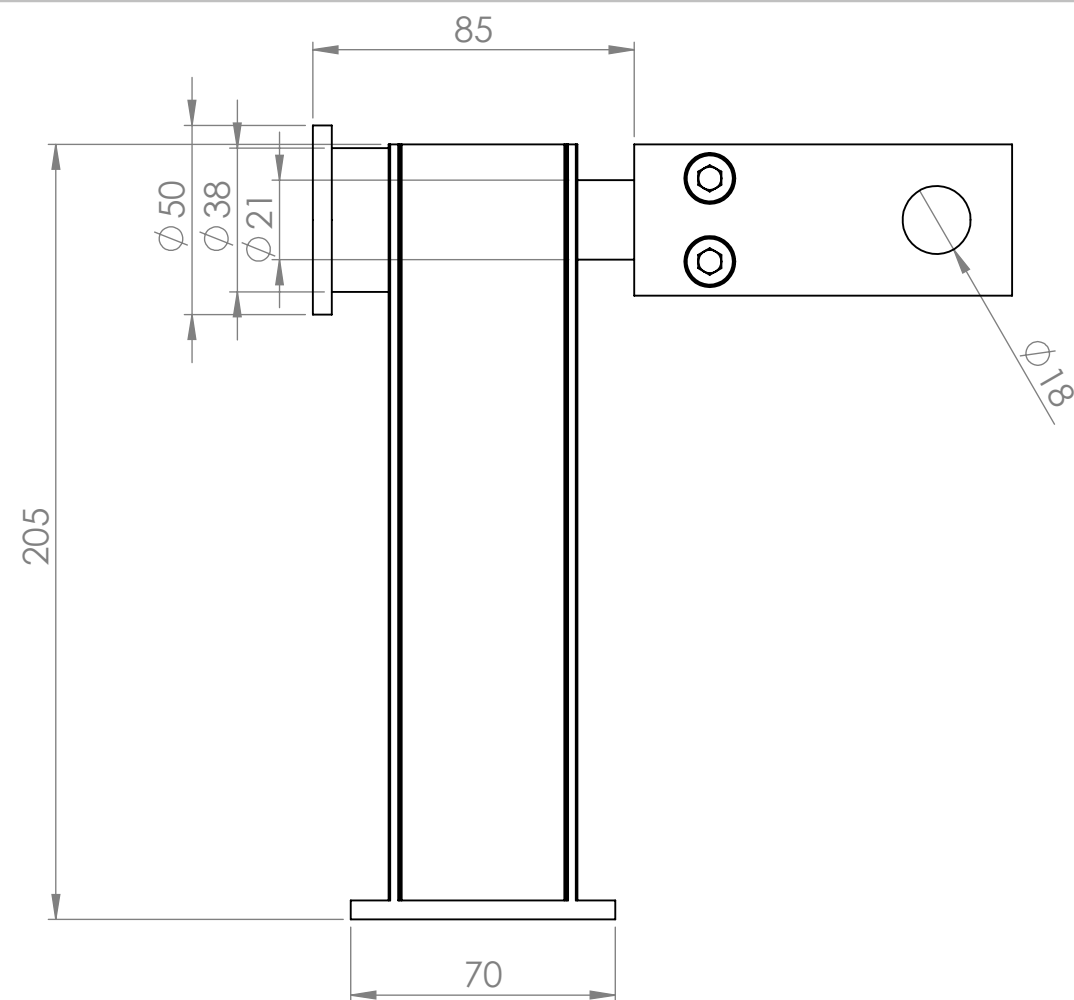
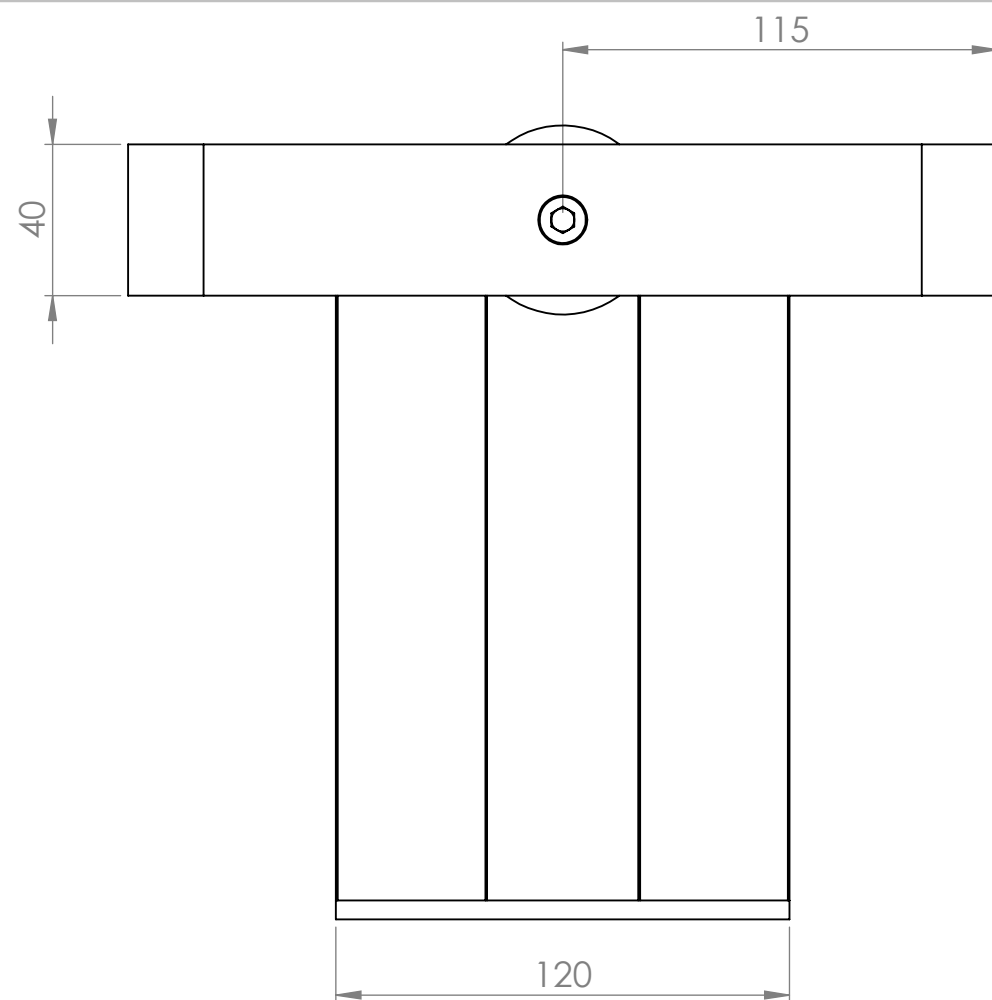
± 0.300 mm Tolerancias en toda la pieza

	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado		Jose Daniel Camacho Segura	
	Revisado			
Escala 1:5	MOTOU PCT			Plano n° 9
Material -				Revision n° 0
Peso	Petro de soldadura			Unidades mm
				Formato A3

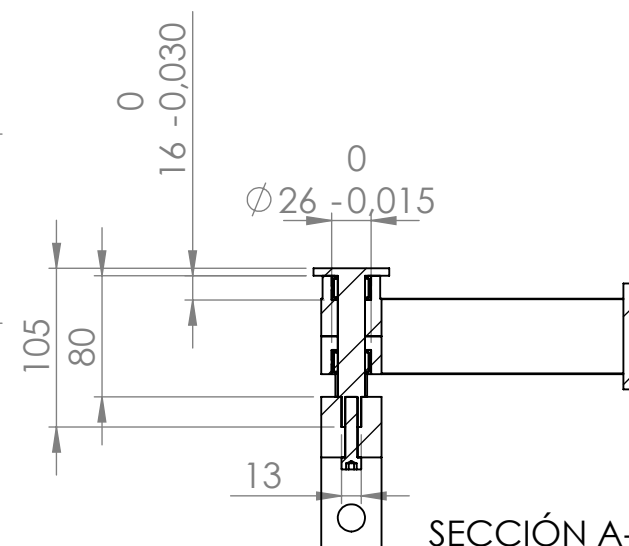
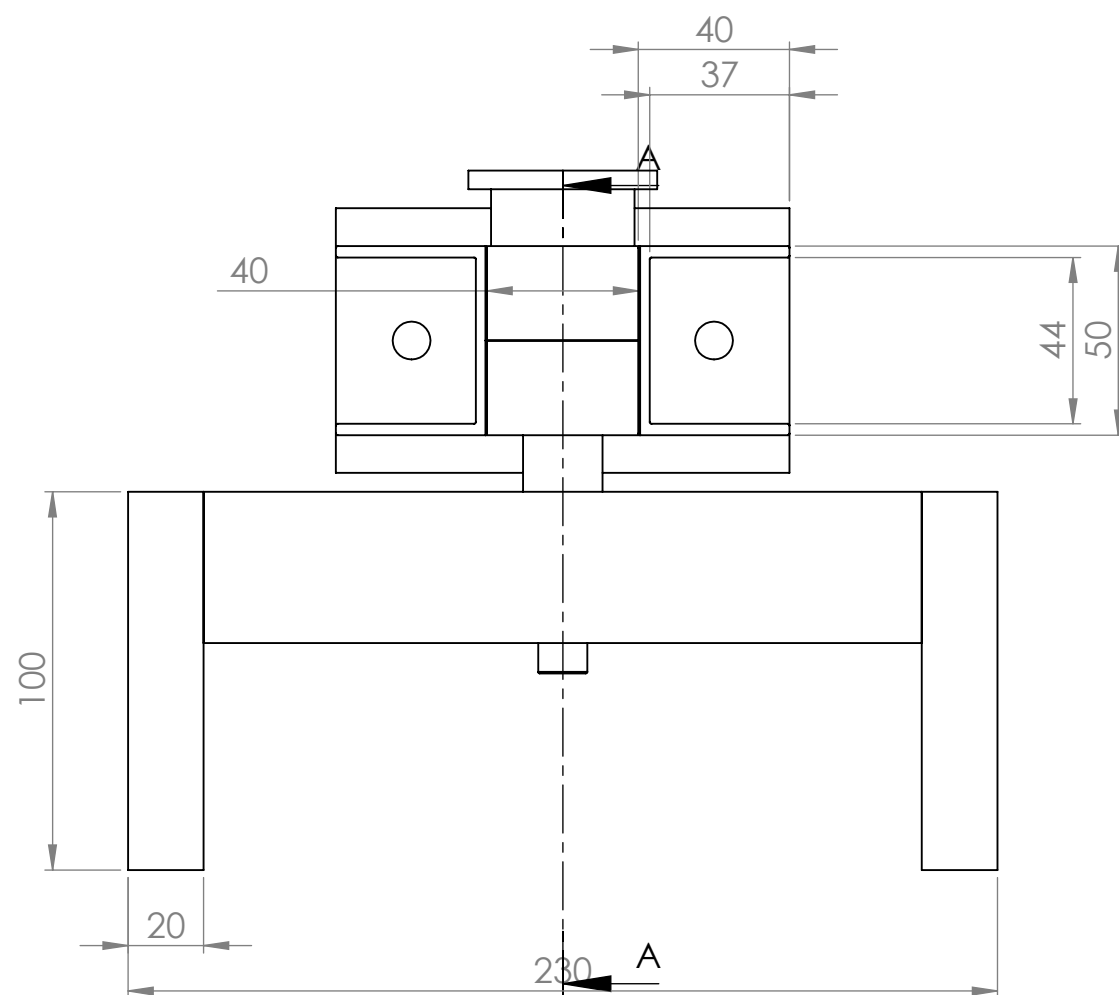


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Viga	1
2	Soporte trasero giratorio	1
3	Arbol trasero	1
4	Traviesa soporte trasero	1
5	ISO 4762 M8 x 40 --- 28C	6
6	inafag_nk18_16_7ya7fc5i1lky2ub7clwi0kkay_01	4
7	inafag_nk18_16_7ya7fc5i1lky2ub7clwi0kkay_02	4
8	inafag_nk18_16_7ya7fc5i1lky2ub7clwi0kkay_03	4
9	Casquillo	1
10	Punta	1
11	Pomo	1
12	Tapón	1
13	Muelle	1
14	PBS030-02-05022013	1
15	PBS027-02-05022013	1
16	PBS028-02-05022013	1
17	PBS018-02-11122012	1
18	inafag_hk2520_b2sk4uvl4ypcilh5we3xf6zgn_01	2
19	inafag_hk2520_b2sk4uvl4ypcilh5we3xf6zgn_02	2
20	inafag_hk2520_b2sk4uvl4ypcilh5we3xf6zgn_03	2
21	inafag_hk2520_b2sk4uvl4ypcilh5we3xf6zgn_04	2
22	inafag_hk2520_b2sk4uvl4ypcilh5we3xf6zgn_05	2
23	PBS029-02-05022013	1
24	ISO 4762 M10 x 40 --- 40C	2
25	Soporte delantero giratorio	1
26	Arbol delantero	1
27	Tubo transversal delantero	1
28	Casquillo	1
29	Perno de sujeción	1
30	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M16 - N	1
31	ISO 4762 M16 x 25 --- 25C	2
32	ISO 4762 M8 x 25 --- 25C	4
33	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M8 - N	4

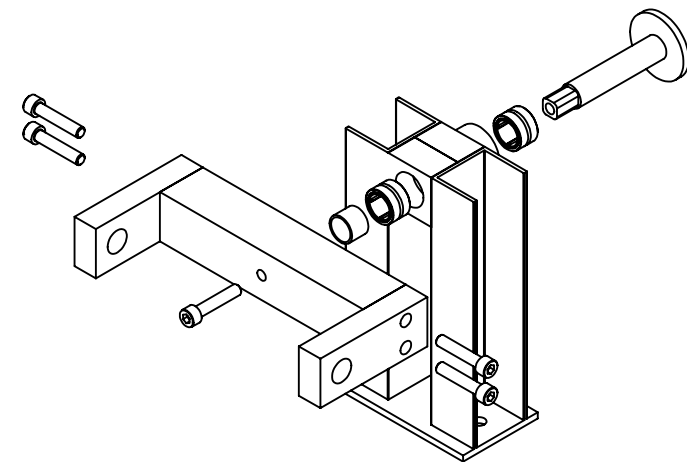
	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado		Jose Daniel Camacho Segura	
	Revisado			
Escala 1:5	MOTOU PCT			Plano nº 10
Material -				Revision nº 0
Peso	Lista de materiales Petro de soldadura			Unidades mm
				Formato A3



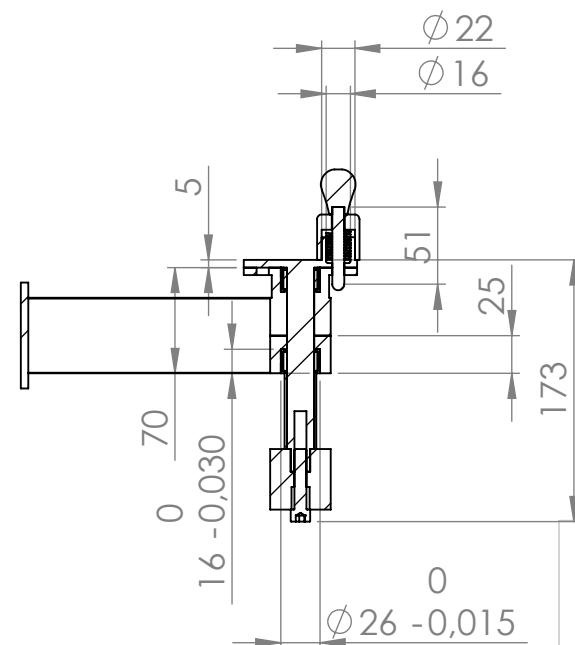
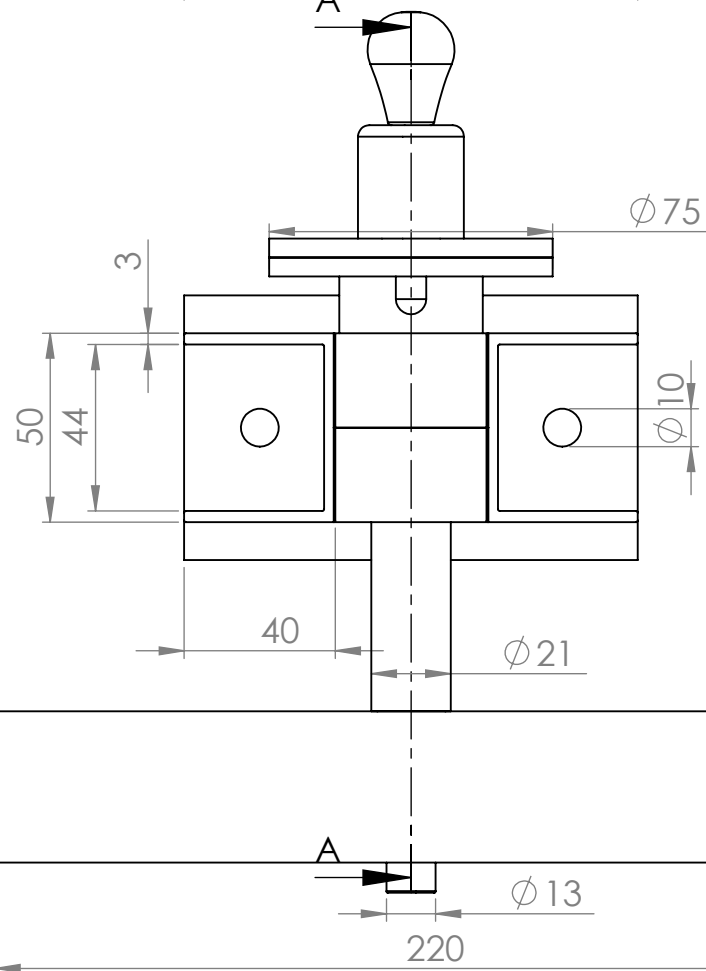
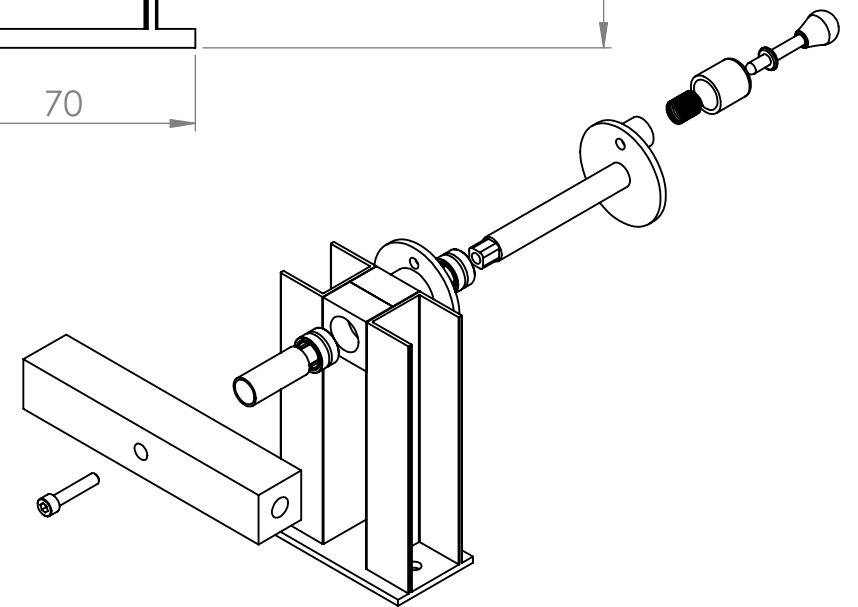
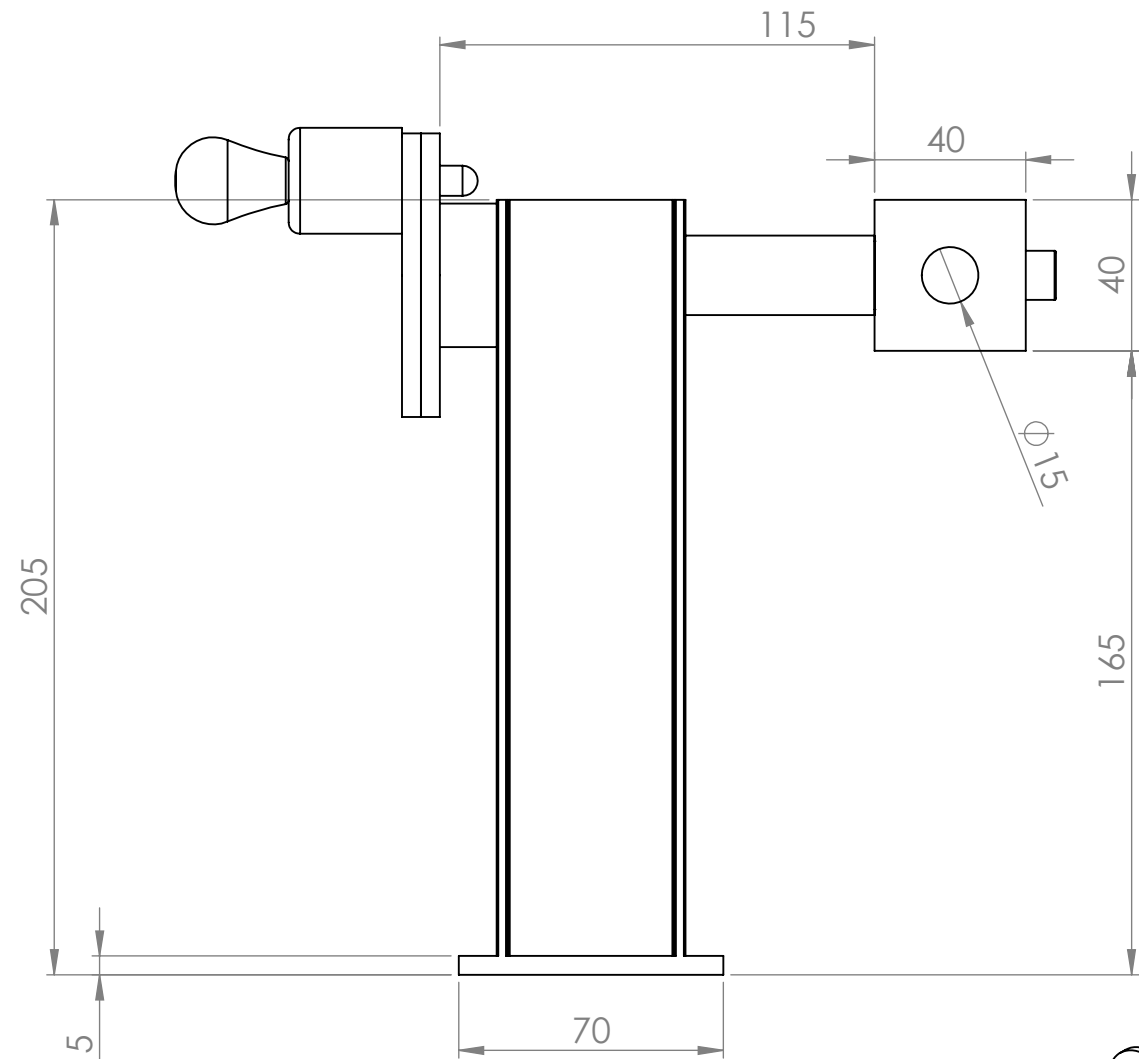
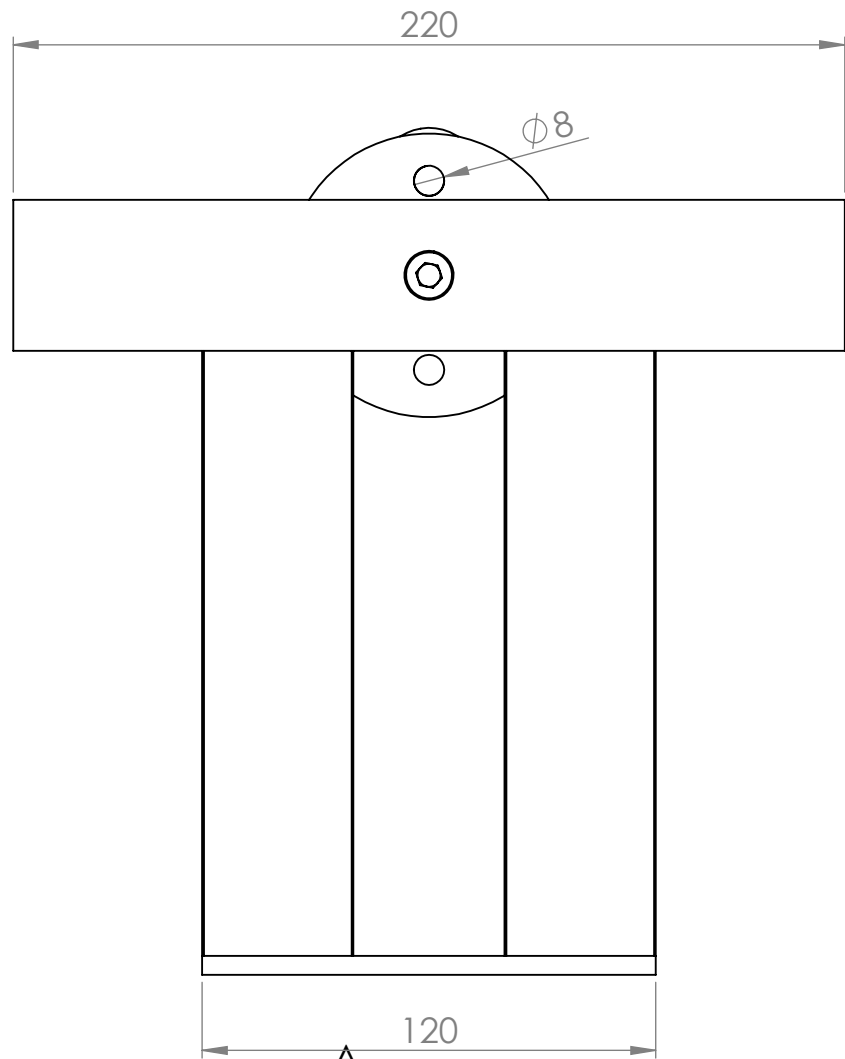
± 0.300 mm Tolerancias en toda la pieza



SECCIÓN A-A



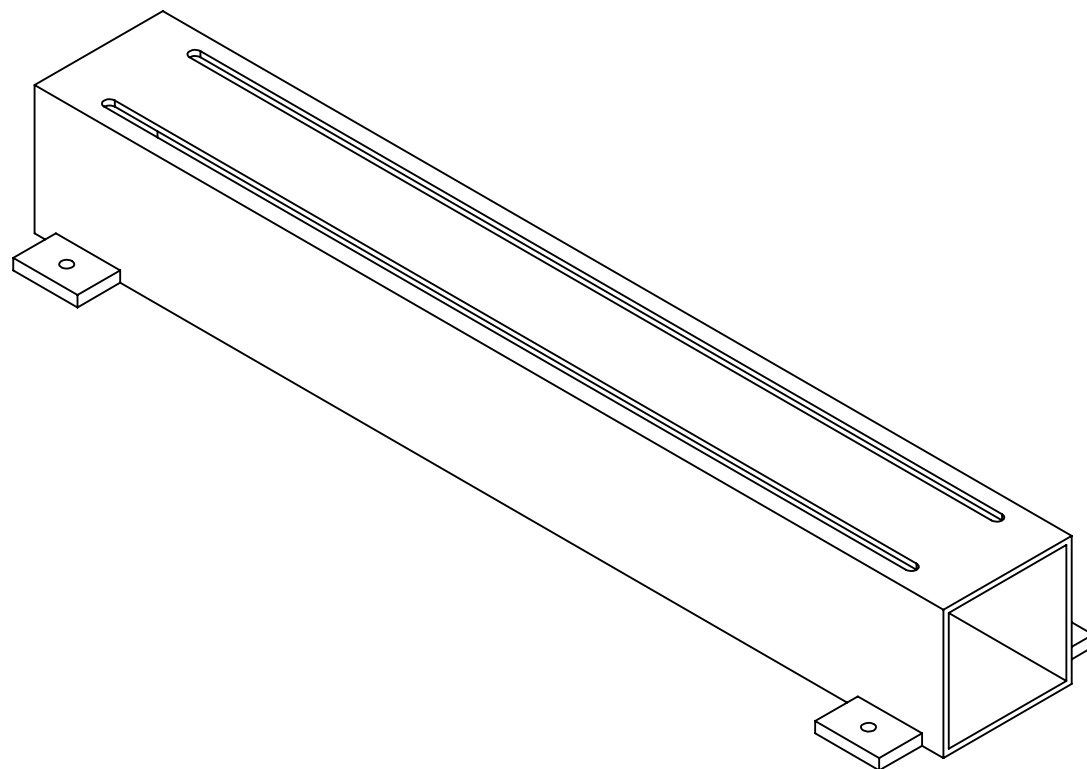
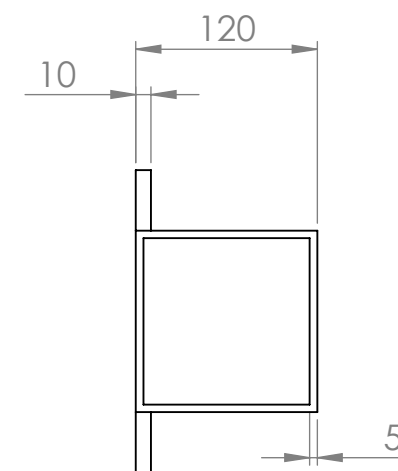
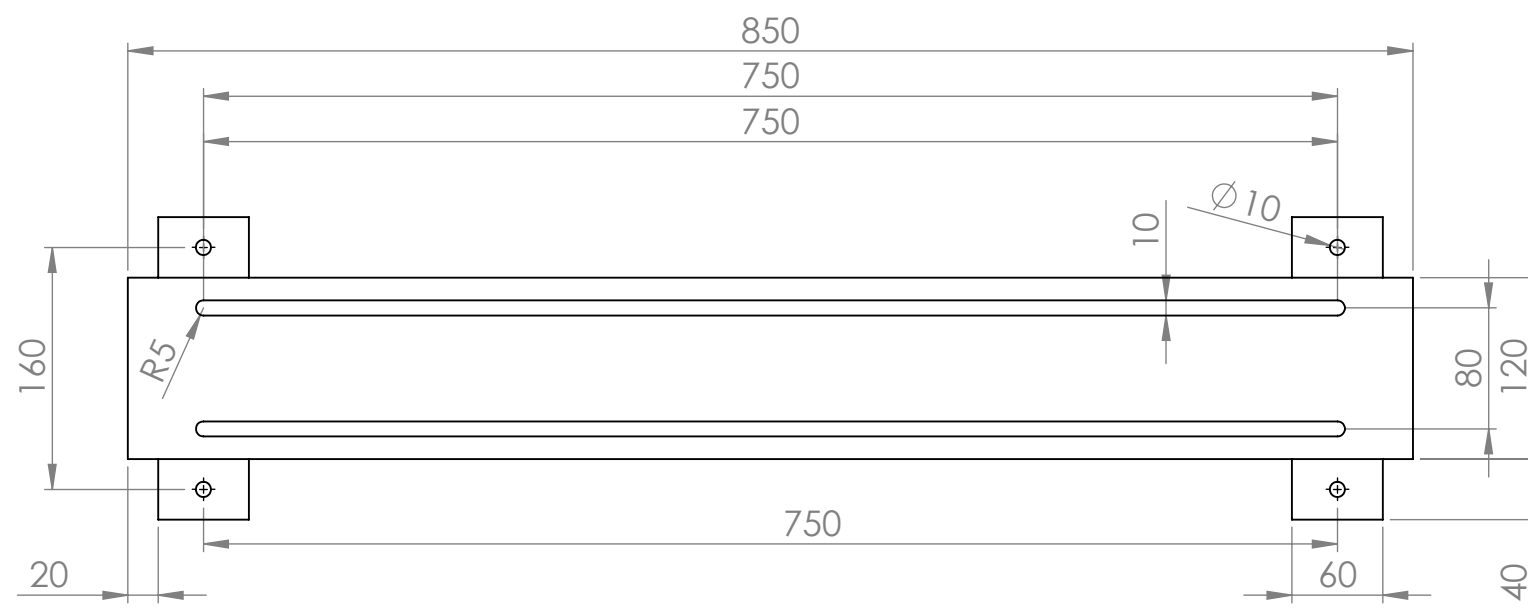
	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado		Jose Daniel Camacho Segura	
	Revisado			
Escala 1:2	MOTOU PCT			Plano nº 11
Material -	Soporte delantero			Revision nº 0
Peso				Unidades mm
				Formato A3



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

± 0.300 mm Tolerancias en toda la
pieza

Escala 1:2 Material - Peso	Dibujado	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado		Jose Daniel Camacho Segura	
	Revisado			
MOTOU PCT				Plano nº 12
Soporte Trasero				Revision nº 0
				Unidades mm
				Formato A3



± 0.300 mm Tolerancias en toda la pieza

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado		Jose Daniel Camacho Segura	
Comprobado			
Revisado			
Escala 1:5	MOTOU PCT		Plano nº 13
Material Acero			Revision nº 0
Peso	Viga base Petro de soldadura		Unidades mm
			Formato A3